

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Technická diagnostika čerpadel

Technical diagnostics of pump

Student:

Petr Kolčář

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata

Ostrava 2011

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Kolčář**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování
Specializace: 70 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Technická diagnostika čerpadel**
Technical Diagnostics of Pump

Zásady pro vypracování:

Zpracujte ve formě studie návrh využití metod diagnostiky ke kontrole technického stavu zařízení v podmínkách provozu daného podniku, za využití dostupných měřících přístrojů a metod.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní provozní vyhodnocení.

Další bližší specifikace provede vedoucí bakalářské práce a firma OKK Koksovny, a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ...18.5.2011


.....

Petr Kolčář

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было́ сје́днано, že VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было́ сје́днано, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:..... 18.5.2011


.....
Petr Kolčář

Adresa trvalého pobytu:

Petr Kolčář
Kunčičky u Bašky 318
Baška
739 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KOLČÁŘ, P. *Technická diagnostika čerpadel*. Ostrava: katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 69 s. Bakalářská práce, vedoucí Ing. Blata, J.

Tématem bakalářské práce je technická diagnostika horizontálních čerpadel. V úvodu je obecně vysvětlena vibrační diagnostika a problematika její aplikace. Pozornost je věnována také samotným vibracím, jejich vyhodnocování a příčinám vzniku. V práci je dále popsáno jaké vybavení používáme při snímání vibrací. Další kapitola se zabývá přímo rozbořem a diagnostikou strojů, s kterými se budeme setkávat.

Druhá část bakalářské práce je věnována samotné diagnostice horizontálních čerpadel ve společnosti Koksova Svoboda. Zabývá se určením jejich technického stavu a lokalizováním závad. Na závěr je uvedeno doporučení pro každý diagnostikovaný objekt.

ANNOTATION BACHELOR THESIS

KOLČÁŘ, P. *Technical diagnostics of pump*. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VSB - Technical University of Ostrava, 2011, 69 p. Thesis, Supervisor: Ing. Blata, J.

The theme of my work is technical diagnostics of horizontal pumps. The introduction is generally explained the vibration diagnosis and problems with the application. Attention is also paid to the actual vibration, and their evaluation of the causes. The thesies also describes the equipment used for vibration sensing. The next chapter deals with the direct analysis and diagnostics of machines, with which we meet.

The second part of this thesis is devoted to the diagnosis of horizontal pumps in the company Koksova Svoboda. It deals with the determination of their technical condition and locating faults. At the end there is a recommendations for each diagnosed object.

Obsah

Použité značení a zkratky	- 8 -
Úvod	- 9 -
1 Vibrodiagnostika	- 9 -
1.1 Základní pojmy	- 10 -
2 Vibrace	- 10 -
2.1 Vyhodnocování	- 11 -
2.2 Příčiny vzniku vibrací	- 12 -
2.2.1 Nevyváženost	- 12 -
2.2.2 Nesouosost	- 15 -
2.2.3 Mechanické uvolnění	- 17 -
2.2.4 Rezonance	- 18 -
3 Vybavení	- 19 -
3.1 Přístroje	- 19 -
3.2 Snímače	- 19 -
4 Stroje, jejich diagnostika	- 21 -
4.1 Elektromotory	- 21 -
4.1.1 Vibrace elektromotorů	- 23 -
4.2 Čerpadla	- 24 -
4.2.1 Vibrace čerpadel	- 24 -
5 Aplikace měření vibrací v praxi	- 26 -
5.1 Popis společnosti	- 26 -
5.2 Popis vybavení	- 27 -
5.3 Diagnostikovaný objekt	- 28 -
5.4 Horizontální čerpadla na venkovním stanovišti	- 30 -
5.4.1 Sestava 01	- 32 -
5.4.2 Sestava 02	- 37 -
5.5 Horizontální čerpadla v hale	- 45 -
5.5.1 Větev číslo 7	- 46 -
5.5.2 Větev číslo 9	- 49 -
5.5.3 Větev číslo 6	- 53 -
5.5.4 Větev číslo 8	- 57 -
5.5.5 Větev číslo 12	- 60 -
5.6 Čerpadla s podezřením poruchy	- 63 -
5.6.1 Měřená čerpadla	- 63 -
6 Závěr	- 66 -
7 Použitá literatura:	- 68 -
Poděkování	- 69 -

Použité značení a zkratky

Značka	Název	Rozměr
g	Zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
v	Rychlost	$[mm \cdot s^{-1}]$
t	Čas	$[s]$
f	Frekvence	$[Hz]$
F	Síla	$[N]$
RMS	Efektivní hodnota	
FFT	Fast Fourier Transformation (rychlá Fourierova transformace)	
ISO	International Organization for Standardization (mezinárodní organizace pro normalizaci)	
Obr.	Obrázek	
tzn.	To znamená	
tzv.	Tak zvaný	
A/D	Analogově digitální převodník	
apod.	A podobně	
x	Násobky otáčkové frekvence	
atd.	A tak dále	
L	Ložisko	
V	Vertikální	
H	Horizontální	
A	Axiální	
Č	Čerpadlo	
M	Motor	

Úvod

Vibrační diagnostika je jedním z nejobsáhlejších odvětví technické diagnostiky. Dává nám mnoho informací o technickém stavu stroje, aniž bychom do něj museli zasahovat a tím narušovat jeho výrobní cyklus. Proto je hojně užívána k efektivnímu plánování údržby a určování aktuálního stavu stroje. S její pomocí rozhodujeme o tom, kdy bude prováděna preventivní údržba a v jakém rozsahu. Díky tomu můžeme výrazně snížit náklady spojené s prostoji, odstávkami, a dalšími neplánovanými omezeními.

1 Vibrodiagnostika

Vibrodiagnostika používá vibrace jako nosič informací. Jsou vyvolávány dynamickým namáháním stroje. Každý stroj s rotujícími elementy má své vibrace, které se dají nějakým způsobem diagnostikovat.

Technický stav rotujících strojů lze diagnostikovat různými metodami, díky kterým se dají zjistit mnohé informace. Často užívaná je tribodiagnostika, kdy provádíme analýzu maziva stroje a zjišťujeme jeho degradaci, nebo poškození zařízení. Při termodiagnostice je využíváno speciálních optických zařízení, které jsou schopny pořizovat záznam infračerveného spektra. Zjišťujeme tak teplotní parametry stroje a tím lokalizujeme možné závady. Při použití akustické diagnostiky je snímán hluk, který stroj vydává. Tato metoda diagnostiky se podobá vibrodiagnostice, až na fakt, že zde jsou vibrace akustického rázu a jsou přenášeny vzduchem. Existují i jiné metody jak zjistit technický stav stroje, ale ve valné většině je používáno vibrační diagnostiky.

Vibrodiagnostika nám umožňuje detekovat problémy, které bychom jinak obtížně zjišťovali. Jedná se převážně o nesouosost, nevyváženost, technický stav ložisek, technický stav převodovek, opotřebování, trhliny apod. Nedá se říct, že vibrodiagnostika je univerzální nástroj pro zjišťování technického stavu stroje. Má své omezení, i nevýhody. Snímač se upevňuje často magnetem, na rovný povrch v místě předpokládané možnosti výskytu zdroje vibrací. Existují i jiné druhy upevnění snímačů jako je např. přišroubování, přilepení, apod., ale tyto spojení jsou časově náročné a nejsou vždy proveditelné. Svě omezení mají také ostatní metody. Například ne všechny rotační stroje používají olejový mazací systém se zásobou oleje, který bychom mohli odebrat pro diagnózu, nebo stroj pracuje v prostředí, které by ovlivňovalo naměřené akustické hodnoty. Ve většině případů

lze vibrační diagnostiku využít, a stává se z ní nejčastější způsob zjišťování technického stavu stroje v menších i větších podnicích.

1.1 Základní pojmy

Tato kapitola byla vytvořena pomocí literatury [1]

DIAGNÓZA – termín používaný i ve zdravotnictví, znamená vyhodnocení (vyšetření) aktuální technického stavu stroje. Má 4 fáze: detekce, lokalizace, specifikace, predikce

DETEKCE – zjištění neurčité závady na stroji

LOKALIZACE – určení místa, v kterém se závada nachází

SPECIFIKACE – určení parametrů a závažnosti závady, její geneze

PREDIKCE – předpověď zbývající provozuschopnosti stroje, určení doby do opravy nebo do další diagnostické zkoušky

GENEZE – určení minulosti stroje, důvody vzniku poruchy

DIAGNOSTICKÝ SYSTÉM – slouží k vyhodnocování stavu stroje, tvoří jej diagnostické prostředky, diagnostikovaný objekt a obsluha. Může být trvale nainstalován (ON-LINE) nebo tzv. přenosný měřicí systém (OF-LINE)

DIAGNOSTICKÉ PROSTŘEDKY – souhrn technických pomůcek, daných postupů a metod, kterými zjišťujeme technický stav stroje

DIAGNOSTICKÁ VELIČINA – nosič informace v jakém technickém stavu se nachází stroj, v našem případě jsou to vibrace

2 Vibrace

Provoz každého stroje obsahujícího elementy pohybujících se rotačně nebo i přímočaře je doprovázen mechanickým kmitočtem – vibracemi. Vibrace se nacházejí i na nových strojích. Odstranění všech vibrací je v běžné praxi nereálné a ani není v našem zájmu, protože díky vibracím s námi stroj komunikuje. Cílem je vibrace snížit na požadovanou mez, kterou udávají příslušné normy. V tomto okamžiku bude stroj v pořádku, ale vibrační hodnoty na něm budou stále měřitelné. Při měření vibrací i hluku nesmí chybět informace

o otáčkách stroje. Tyto informace zjišťujeme ze štítků strojů, nebo speciálními měřidly jako jsou například laserové měřiče otáček.

2.1 Vyhodnocování

Mechanické kmitání neboli vibrace vzniká dynamickým namáháním stroje, je definováno jako jev, při němž jednotlivé hmotné body stroje vykonávají pohyb vratný vzhledem k rovnovážné klidové poloze a to posunem v ortogonální souřadnicové soustavě x , y , z a rotací kolem těchto os – kombinace až 6 pohybů. [10]

Kmitání může být popsáno těmito veličinami:

- Dráhou (výchylkou)
- Rychlostí
- Zrychlením

Vibrace posuzujeme pomocí frekvencí a amplitud na těchto frekvencích. Při detailní analýze vyhodnocujeme ještě fázový posuv. Umožňuje nám posuzovat vzájemný posuv bodů vůči sobě v čase, nebo vůči fázové referenci – značce na hřídeli. Měření fáze používáme při diagnostice nesouososti, nevyváženosti, ohnutého hřídele.

Máme mnoho druhů metod k vyhodnocování vibrací, přičemž každá metoda si najde své specifické uplatnění. Hlavní a nepoužívanější metoda je frekvenční analýza vibrací pomocí FFT (Fast Fourier Transformation). Jedná se o nejzákladnější metodu vyhodnocování vibračních signálů. Vibrační signál je rozložen na amplitudy odpovídající různým frekvenčním složkám, neboli je to převod z časové oblasti do oblasti frekvenční. Takto převedený signál je dobře čitelný a můžeme se z něj dozvědět, jaká vada se na stroji nachází. V praxi je výhodné pro odhalení některých informací mít k dispozici signál zobrazen jak v časové tak ve frekvenční oblasti.

Nejčastěji se při specifikaci vady ukáže jako největší zdroj vibrací nesouosost a nevyváženost zařízení. Dále se ve vibračním spektru může ukázat mechanické uvolnění, prohnutá hřídel, zadírání, problémy s kluznými a valivými ložisky, řemenové a ozubené převody, opotřebení, závady lopatkových strojů, kavitace, rezonance, atd.

Správná a včasná diagnóza možné závady je hlavním předpokladem pro efektivní a spolehlivou diagnostiku ve firmě, díky níž jsou strategicky plánována nápravná a preventivní opatření.

2.2 Příčiny vzniku vibrací

Vibrace vznikají jako důsledek mnoha závad. Pokud jsou vibrace velké, je třeba určit jejich původ. Zde uvádím základní příčiny, které jsou ve frekvenčním spektru nejčastěji nalezeny.

2.2.1 Nevyváženost

Tato kapitola byla vytvořena pomocí literatury [2, 3, 8]

Nevyváženost je stav, při němž osa setrvačnosti rotujícího tělesa není totožná s jeho osou rotace. Je to jeden z nejčastějších problémů, který způsobuje vibrace na strojích. Z logické úvahy vyplývá, že čím má rotující element větší otáčky, tím větší síly – vibrace na něj působí. Proto se snažíme tento problém odstranit a to se provádí:

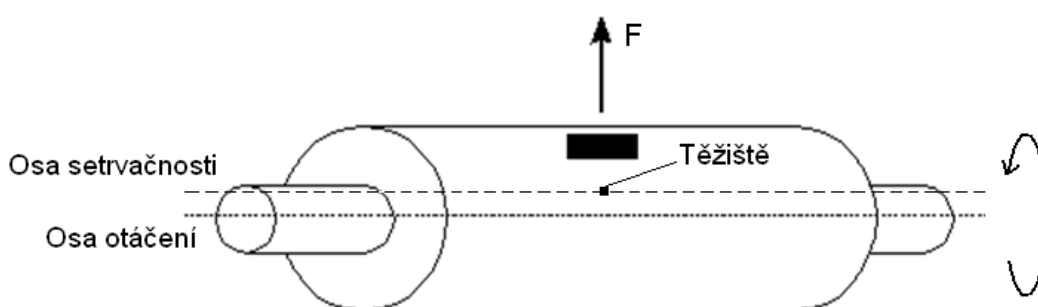
1. měřením nevyvažku – jeho polohy
2. kompenzací nevyvažku – přidání protizávaží o stejné hmotnosti

Existují 3 základní typy nevyváženosti:

- **Statická nevyváženost**

Je to stav, kdy je osa setrvačnosti paralelně posunuta vůči ose otáčení. Na rotující těleso zde působí jedna síla, která je umístěna v těžišti a můžeme ji pozorovat i při klidovém stavu. Spočívá to v položení tělesa na rovnou podložku s minimálním třením, nebo je-li uchycené v ose otáčení a je mu umožněno se otáčet s minimálním třením, nevyvážek se natočí vždy směrem dolů.

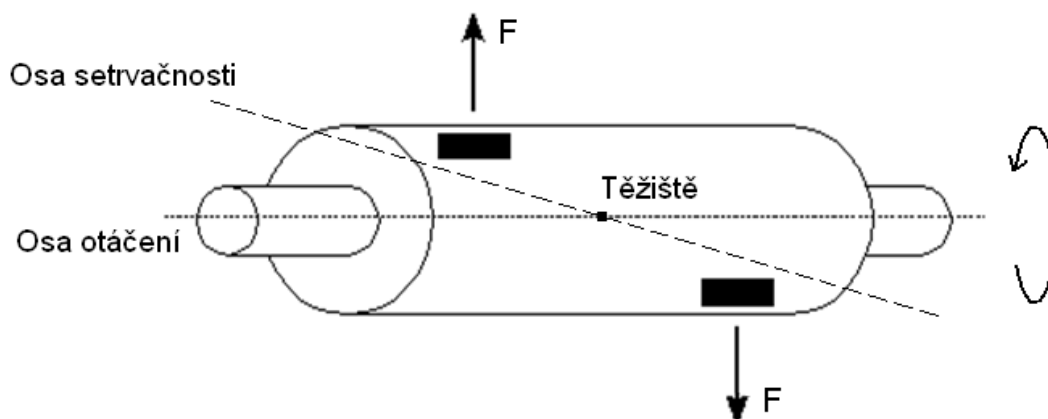
Toto je málo vyskytující se nevyváženost, vyvažuje se odebráním materiálu v místě nevyváhy, nebo přidáním materiálu na místě protilehlém.



Obr. 1 Statická nevyváženost [2]

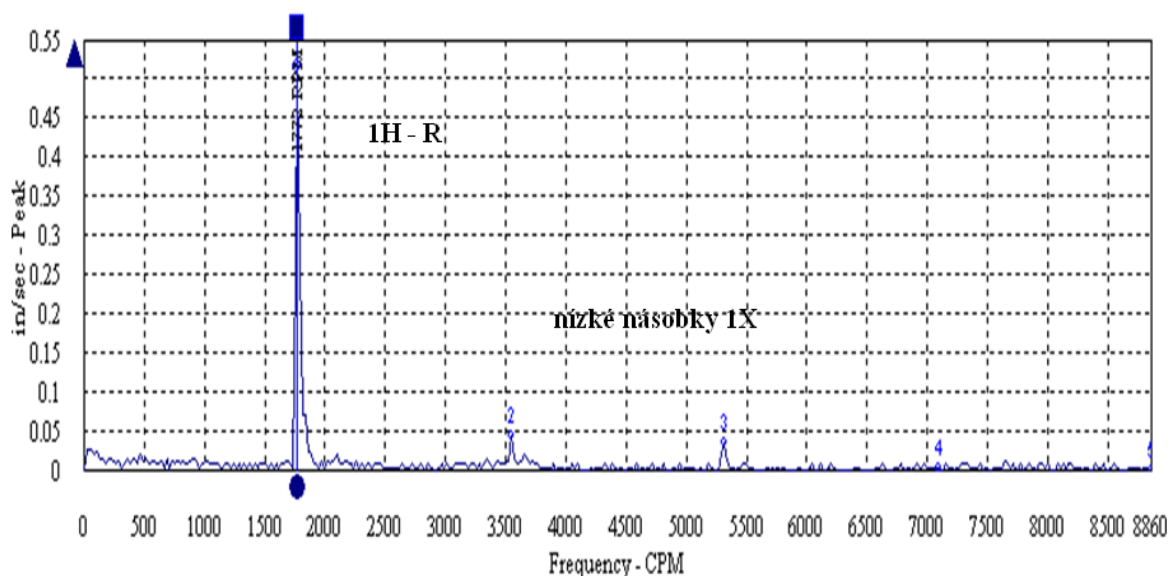
- **Momentová nevyváženost**

Je stav kdy na těleso působí 2 síly stejné velikosti vůči sobě posunuté o 180° . Osa setrvačnosti svírá s osou otáčení určitý úhel, který je dán vzdáleností působících sil. Tato nevyváženost za klidu nelze zkoumat, těleso se bude jevit jako vyvážené.



Obr. 2 Momentová nevyváženost [2]

Momentová i statická nevyváženost se ve vibračním spektru projeví na první harmonické složce, která je většinou dominantní. (obr. 3)

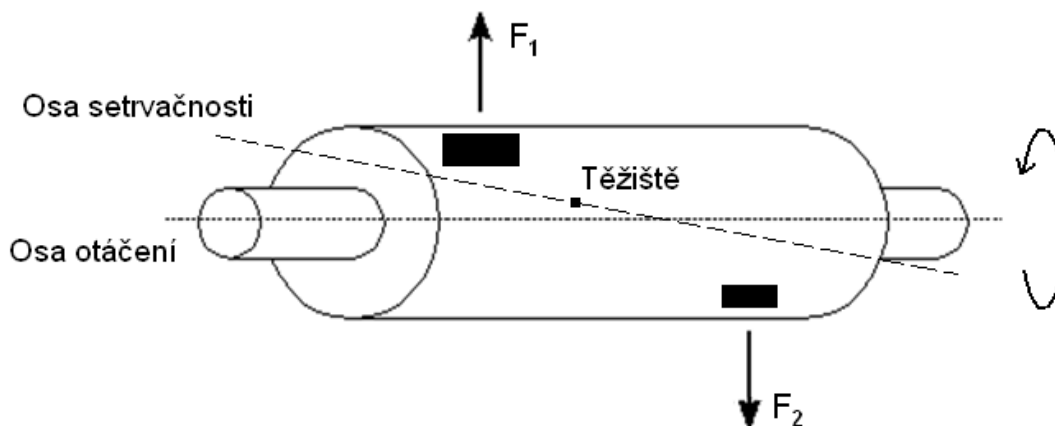


Obr. 3 Typické spektrum vibrací pro statickou a momentovou nevyváženost [8]

- **Dynamická nevyváženost**

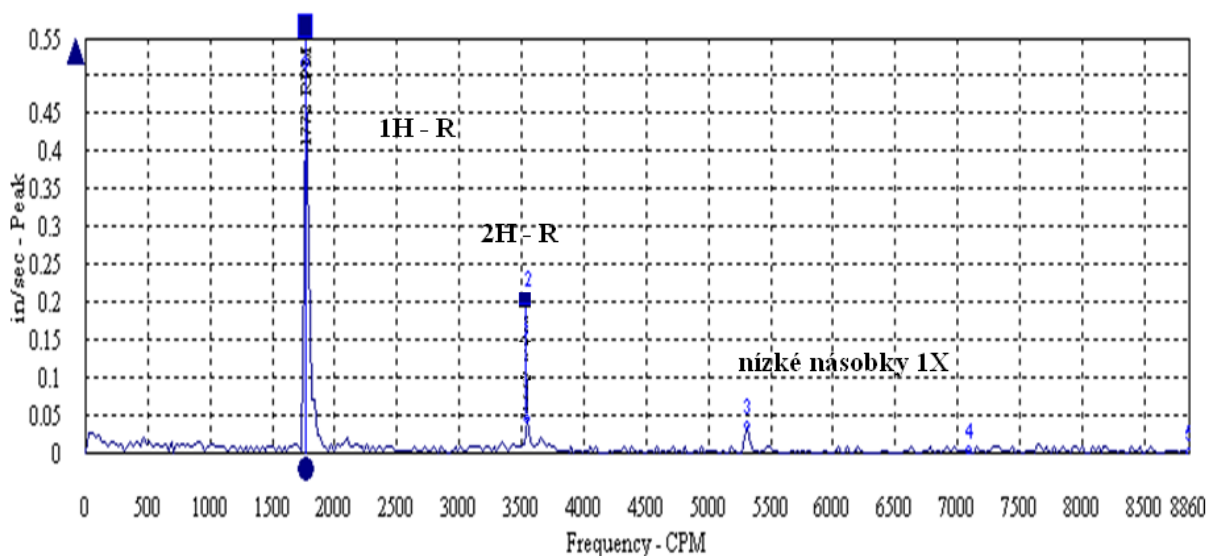
Jedná se zpravidla o kombinaci statické a momentové nevyváženosti, kterou můžeme kompletně zjistit jedině za rotace. Osa setrvačnosti neprotíná osu otáčení v těžišti a svírá

určitý úhel. V praxi je to nejčastější případ a vzhledem k výrobním tolerancím se vyskytuje u většiny rotorů. Vyvažujeme ji ve více rovinách a to nejdříve statickou nevyváhu a následně dynamickou.



Obr. 4 Dynamická nevyváha [2]

Zde dominuje amplituda otáčkové frekvence, fázový rozdíl je v horizontálním směru mezi vnitřním a vnějším ložiskem $0^\circ - 180^\circ$. Při větší nevyváženosti se může vyskytnout násobek na druhé otáčkové. (obr. 5)



Obr. 5 Typické spektrum vibrací pro dynamickou nevyváženost [8]

2.2.2 Nesouosost

Tato kapitola byla vytvořena pomocí literatury [2, 8]

Spojení hřídelů umožňující přenos krouticího momentu je uskutečňováno spojkami. Při takto prováděných spojích je nutno dávat důraz na souosé ustavení hřídelů a pečlivé provedení smontování tohoto mechanického spojení. Nedodržení těchto zásad vede k buzení vynucených kmitů, které způsobují poškození ložisek, spojek a hřídelů. Po nevyváženosti se jedná o druhou nejčastější příčinu vibrací. Nesouosost má na svědomí mnoho problémů:

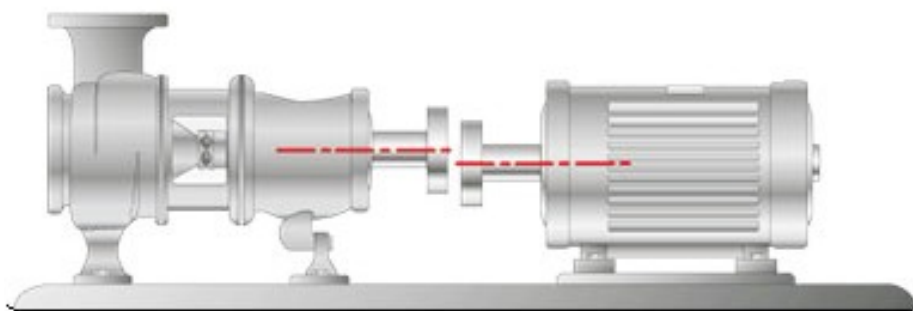
- Zvýšení vibrací stroje
- Větší namáhání ložisek
- Větší opotřebení těsnících elementů
- Nadměrné opotřebení spojek
- Vyšší spotřebu energie

Tomuto lze snadno předejít odborným ustavením a smontováním při kterém musí být brán v potaz, že při provozu hřídel nabývá jiných vlastností než při klidovém stavu.

Rozlišujeme 3 druhy neustavení:

- **Paralelní přesazení**

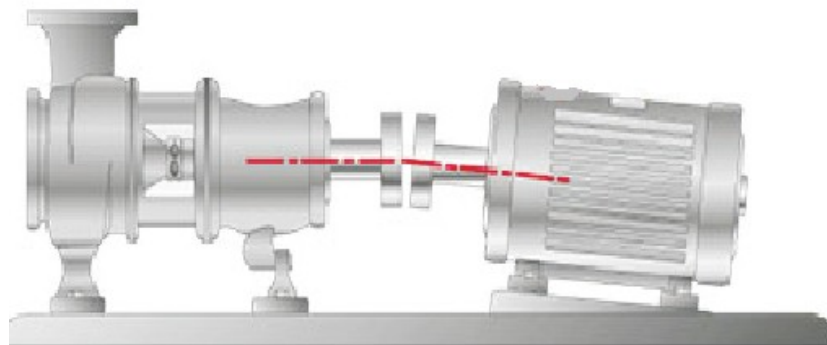
Hřídele jsou vůči sobě posunuty, ale zůstávají rovnoběžné. Vibrace jsou měřitelné v radiálním směru, nejvýrazněji ve vertikálním, protože jsou umocňovány tíhovým zrychlením. Druhá otáčková je často větší než první.



Obr. 6 Paralelně přesazené hřídele při spojení motoru s čerpadlem [9]

- Úhlové přesazení

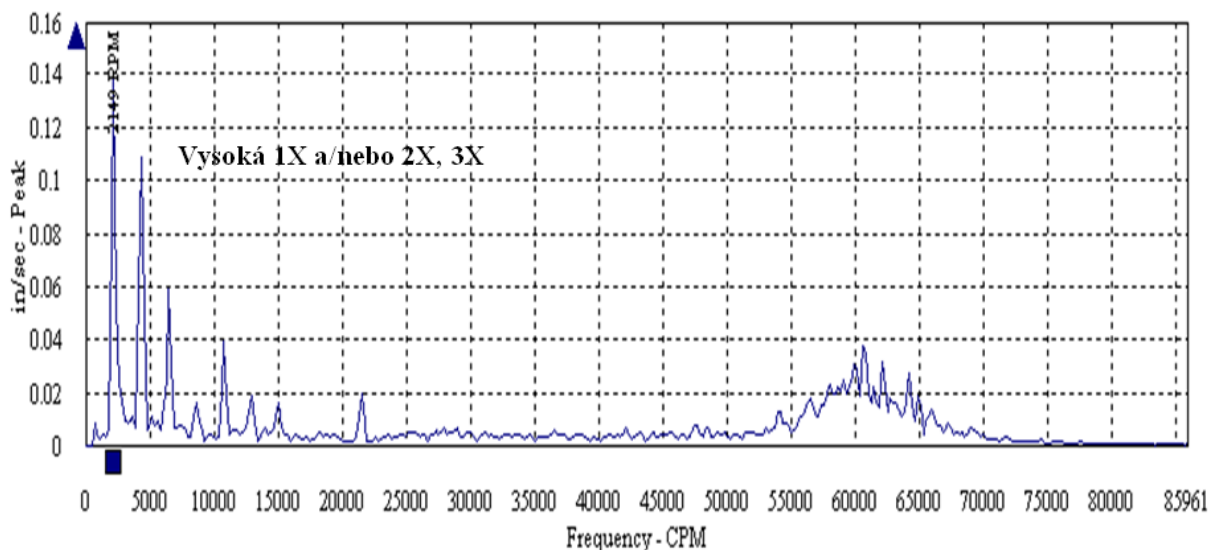
Mezi osami je určitý úhel, to znamená, že hřídele jsou vůči sobě nakloněny. Charakterizující jsou velké axiální vibrace, které se projeví jako vyšší harmonické složky první, druhé nebo i třetí otáčkové frekvence. Fáze je posunutá o 180° na protikusech spojky.



Obr. 7 Úhlově přesazené hřídele při spojení motoru s čerpadlem [9]

- Paralelní a uhlové přesazení

Hřídele jsou vůči sobě posunuty a zároveň nakloněny pod úhlem. Jedná se o kombinaci obou předchozích chybných ustavení. Je to nejhorší varianta, která při spojování hřídelů může nastat.

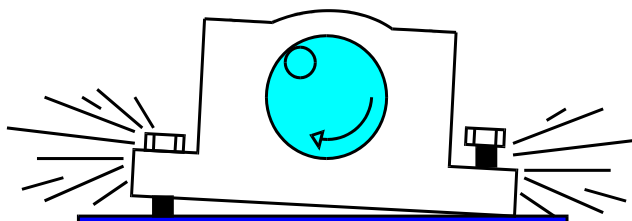


Obr. 8 Typické spektrum vibrací pro obecnou nesouosost [8]

2.2.3 Mechanické uvolnění

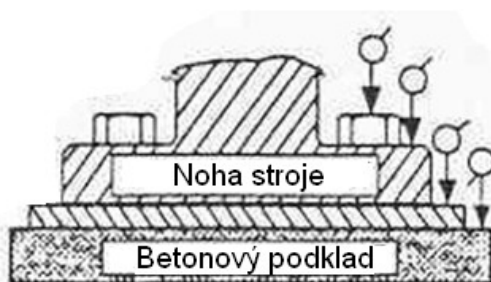
Tato kapitola byla vytvořena pomocí literatury [2, 8]

Vzniká zpravidla postupně jako následek vibrací stroje. Dochází při něm narušení kotvící části stroje (např. uvolnění šroubu, popraskání svaru apod.), které se následně projeví jako další vibrace. Výrazně se také zvýší hlučnost.



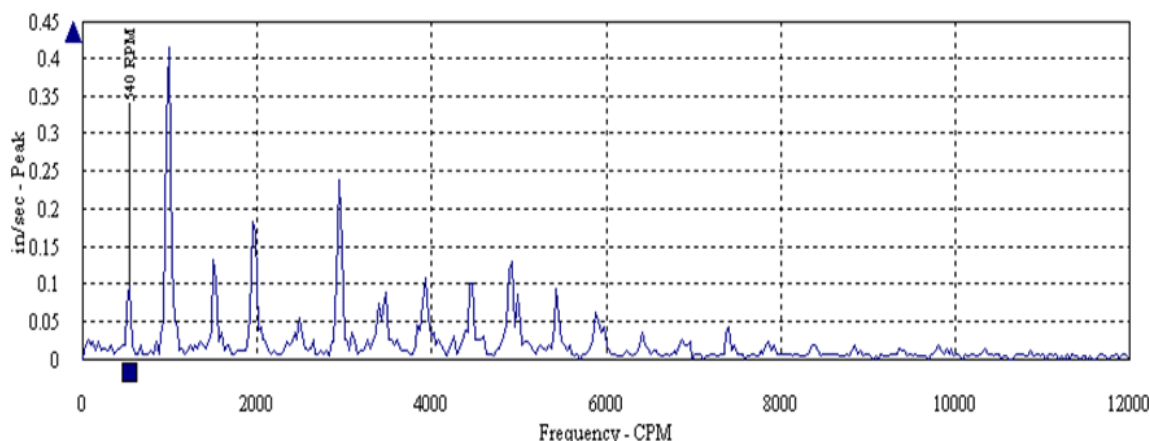
Obr. 9 Mechanické uvolnění [8]

Mechanické uvolnění je možné lokalizovat proměřováním vibrací na patkách stroje, základovém rámu a základu. (obr. 10) Při zjištění velkého rozdílu vibrací mezi jednotlivými spojujícími komponenty můžeme říct, že jsme lokalizovali místo uvolnění.



Obr. 10 Struktura upevnění stroje [2]

Ve frekvenčním spektru jsou vykresleny jako sled neobvykle vysokých amplitud vyšších harmonických složek (2x, 3x, 4x...). (obr. 11)



Obr. 11 Typické spektrum vibrací pro mechanické uvolnění [8]

2.2.4 Rezonance

Tato kapitola byla vytvořena pomocí literatury [1]

Je to velmi častá příčina velkých vibrací. Rezonance jako takové vibrace nezpůsobuje, jen je zesiluje. Vznikají na strojních součástech podle jejich tuhosti a hmotnosti. Různé části stroje mohou být jinak citlivé na různé rezonanční frekvence. Pokud se otáčková frekvence začne blížit k rezonanční frekvenci, začnou se zvyšovat vibrace a hlučnost stroje. Každý stroj má své kritické rezonanční pásmo, v kterém jsou rezonance na maximu. Po překročení tohoto pásma vibrace opět klesají.

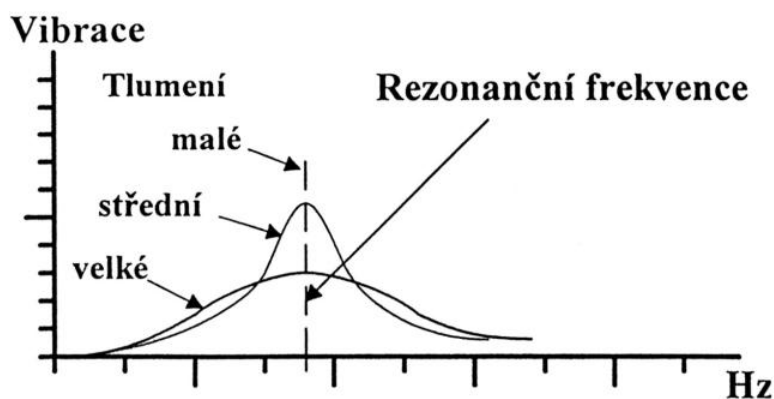
K odhalení používáme dvě možné varianty:

- **Modální analýza** – Je časově náročná, ale je objektivní a udává nám přesné parametry. Ovšem je velmi ekonomicky náročná a proto není používána tak často.
- **Experimentální určení** – Jedná se o rychlejší variantu, kdy lze daný problém alespoň objektivně potvrdit.

Postupy pro experimentální zjištění rezonance:

- Zvyšováním otáček stroje a současného zjišťování vibrací ve vertikálním směru. Tím dosáhneme vykreslení grafu (obr. 12)
- Úderem kladívka, jež dokáže změřit sílu úderu a současné snímání vibrací, které jsou odezvou na tuto budící sílu. Tímto dostaneme spektrum, kde frekvence největší úrovně vibrací odpovídá rezonanční frekvenci.

Na základě naměřených údajů upravujeme provozní otáčky stroje, aby měly minimální odstup 30% od rezonanční frekvence, nebo upravujeme tuhost stroje, abychom docílili tlumení či posunutí rezonanční frekvence.



Obr. 12 Vliv tlumení na velikost vibrací [1]

3 Vybavení

Pro snímání vibrací používáme speciální přístroje, snímače a příslušenství, které mají parametry dle požadavku na diagnostiku daného stroje.

3.1 Přístroje

Pro periodické sledování používáme off-line systémy, které jsou malé, přenosné, určené k zjištění technického stavu stroje odborným pracovníkem při pochůzce v daném časovém intervalu. Pro větší stroje, které mají velkou důležitost a mohly by při poruše způsobit finanční nebo zdravotní škody používáme on-line systémy, které nám umožňují neustálé sledování hodnot v reálném čase, a dokážou nás upozornit na každou změnu stavu stroje.

Nedílnou součástí každého přístroje pro snímání vibrací je speciální software, který zpracovává naměřené hodnoty a převádí je do podoby, v které je jsme schopni analyzovat.

Každý takovýto přístroj má své příslušenství, které je vybíráno dle požadavků na diagnostiku. Jedná se o speciální snímací sondy, generátory trigeru, stroboskopy, konektory a kabely, apod.

3.2 Snímače

Při měření vibrací chceme dosáhnout co nejvěrnějšího výstupního signálu, který je převáděn z mechanického kmitání. Nejrozšířenější jsou v dnešní době akcelerometry, snímače, které využívají piezoelektrického efektu. Tyto snímače mají také svá omezení a to v nízkých frekvencích, kdy mají špatnou přesnost. Proto jsou stále rozšířené i jiné druhy snímačů.

Snímače zrychlení

Jedná se o akcelerometry. Tento signál lze snadno převést pomocí integrujících členů na výchylku a rychlost. Zrychlení, výchylka a rychlost jsou požadované veličiny. Tyto snímače obsahují piezoelektrické krystaly, které vytvářejí elektrický náboj úměrný působící síle. Podle toho rozeznáváme tři druhy akcelerometrů:

- Tlakový (robustní, široký rozsah snímání zrychlení)
- Ohybový (křehký – citlivý na rázy, používaný pro nízké frekvence)
- Smykový (úzkoprofilový, malý vliv teploty základny) [2]

Snímače rychlosti

Pracují s pohyblivou cívkou, která při změně polohy kmitá v poli permanentního magnetu. Pro tyto snímače nepotřebujeme žádnou složitou zesilovací techniku. Naměřené hodnoty můžeme převést pomocí integrace na výchylku. Nevýhodou je velký rozměr a omezený horní kmitočet. V dnešní době je nahradily akcelerometry. [2]

Snímače výchylky

Tyto snímače měří výchylku, díky níž zjistíme amplitudu vibrací. Jedním z nejklasikářších snímačů je bezdotyková sonda. Používá se u velkých rotačních strojů, jejichž hmotnost nosné konstrukce je velká ve srovnání s hmotností rotoru. Měří se výchylka mezi rotujícími a nerotujícími elementy. Bezdotyková sonda pracuje na principu vířivých proudů, kde cívka vytváří magnetické pole vyzařované na elektricky vodivý materiál (hřídel), který odebírá energii magnetického pole a tím nám říká, v jaké poloze se hřídel nachází. [2]

Přípevnění snímačů

Pro zajištění správného a objektivního měření vibrací je nutné brát ohled na dokonalé připevnění snímače. Je uskutečňováno mechanickým kontaktem mezi plochou snímače a povrchem ze kterého snímáme vibrace. Při nedokonalém připevnění jsou zkresleny výstupní hodnoty na horní hranici frekvenčního rozsahu. Je nutné pro dané měření zvolit správný druh snímače, aby poměr váhy snímače k váze diagnostikovaného objektu byl zanedbatelný. Pro diagnostiku v této bakalářce využíváme akcelerometrickou sondu, která je upínána pomocí permanentního magnetu. (obr. 13)



Obr. 13 Připevněná akcelerometrická sonda na čerpadle

4 Stroje, jejich diagnostika

Tato kapitola se zaměřuje na elektromotory a čerpadla, jelikož takovéto sestavy budou v praktické části diagnostikovány.

4.1 Elektromotory

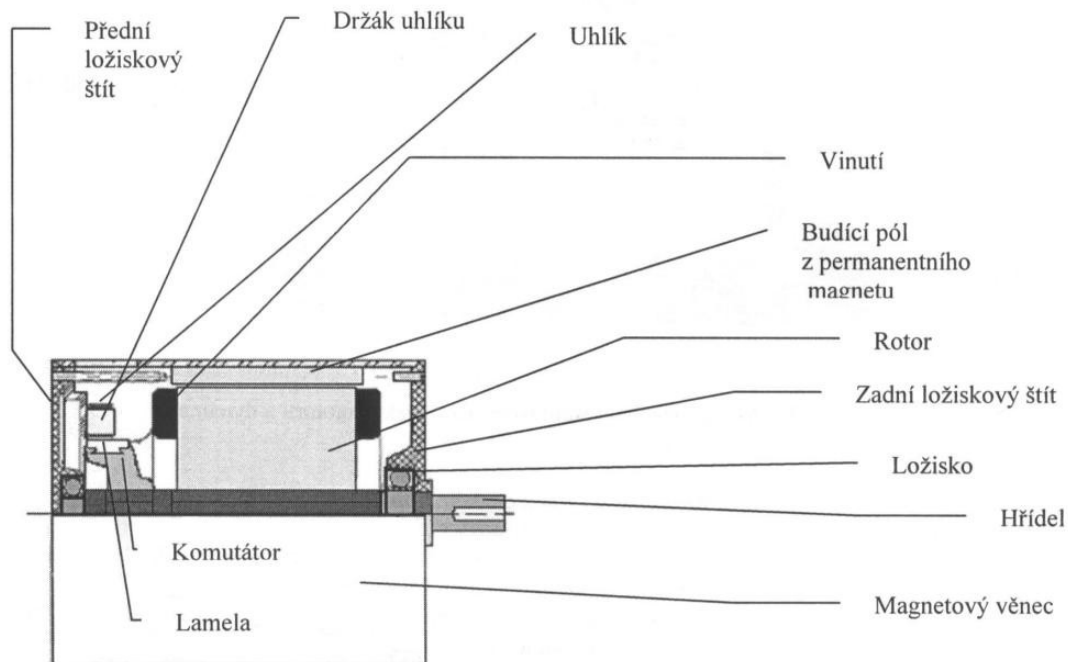
Tato kapitola a její podkapitola byla vytvořena pomocí literatury [1]

Jsou používány tam, kde potřebujeme transformovat elektrickou energii na energii mechanickou rotační. Je to v dnešní době nejlevnější varianta z hlediska výrobních nákladů, a zároveň z hlediska provozního jsou ekologické, spolehlivé a z hlediska využití energie nejefektivnější. Elektromotory nám umožňují plynulou regulaci otáček.

Dělíme je podle zdroje napětí:

Stejnoseměrné elektromotory

Jsou schopny pracovat jako motory i generátory. Jejich princip spočívá v otáčení se cívky v magnetickém poli.



Obr. 14 Řez stejnosměrným elektromotorem s permanentními budícími póly [1]

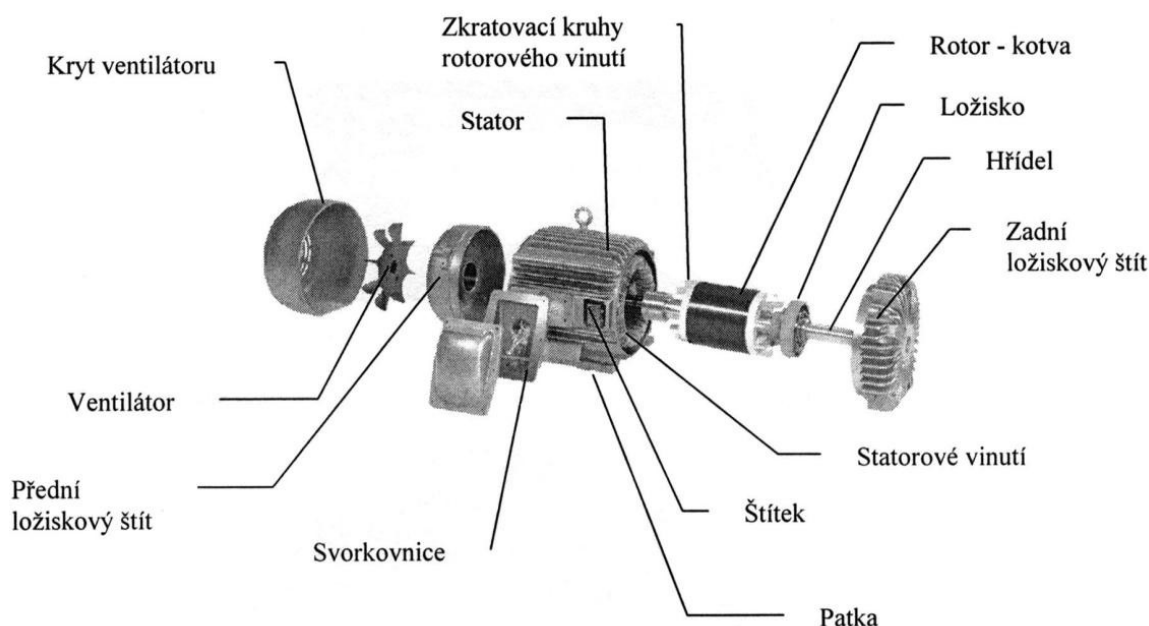
Důležité je povšimnout si, kde se nacházejí ložiska. Umístování snímače vibrací budeme provádět v jejich nejbližším bodě na kostře elektromotoru.

Střídavé elektromotory

- Synchronní
- Asynchronní

Jsou to nejpoužívanější elektrické motory vůbec. Jsou konstrukčně jednoduché, spolehlivé, snadno obsluhovatelné jejich rychlost otáčení se při proměnlivém zatížení téměř nemění. Najdou si uplatnění tam, kde není třeba regulovat otáčky. Pokud je změna otáček potřeba, používáme frekvenční měniče.

Na obr. 15 vidíme, z čeho se elektromotor skládá. Tato informace je taktéž pro diagnostiku velmi důležitá, jelikož může určit, které elementy mají pevnou vazbu na hřídel, a tím pádem nám dávají nejobektivnější informace. Například je důležité, aby vibrace nebyly snímány z krytu ventilátoru, který se chvěje v řádově vyšších hodnotách, ale zároveň tyto vibrace nemají velkou sílu, jelikož se jedná o lehký element, který je jen zběžně přišroubován, tudíž se na něm nedají naměřit potřebná data.



Obr. 15 Rozložený asynchronní elektromotor s kotvou nakrátko [1]

U elektromotorů používáme zpravidla bezdemontážní diagnostiku, kterou dělíme do těchto skupin:

- Vibrodiagnostika
- Parametrická diagnostika (diagnostika výkonu)
- Diagnostika izolace

4.1.1 Vibrace elektromotorů

Vibrace na motoru mohou být dvojího typu:

- Mechanického původu
- Elektromagnetického původu

V praxi jsou vibrace motoru tvořeny celkovým součtem těchto uvedených složek. U elektromotoru se mohou vyskytovat závady a poruchy v elektrických obvodech, magnetickém obvodu statoru a rotoru a v mechanických částech (hřídelích, ložiskách, kostře, apod.).

Elektromagneticky způsobené vibrace

Vibrace elektromagnetického původu jsou typické pro elektrické rotující stroje a způsobují kmitání kostry. V elektrických obvodech to bývají závady jako snížení izolačního stavu vinutí, zvýšení přechodových odporů, poruchy ve vinutí rotoru, závitový zkrat a nechtěné zahřívání vinutí. V magnetickém obvodu může nastat problém, když dojde k mechanickému uvolnění paketu, zkratu mezi jeho jednotlivými plechy, apod. Vibrace elektromagnetického původu zjišťujeme tak, že stroj vypneme a sledujeme pokles vibrací v čase. Je-li tento pokles velmi rychlý, jedná se o vibrace elektromagnetického původu. Taktéž můžeme použít metodu měření frekvenčního spektra pro různé hodnoty napájecího napětí.

Mechanicky způsobené vibrace

Nejčastější závady bývají mechanického rázu, které často nejsou tak závažné jako předchozí problémy v tom smyslu, že nevedou k okamžitému odstavení motoru. Projevují se zvýšenými vibracemi a zvýšení hluku různých částí stroje. Jedná se o chvění způsobené valivými ložisky, nevyvážením všech rotujících částí stroje a nesouosost elektromotoru s poháněnou jednotkou. Nesouosost je častá závada, která bývá způsobena nedokonalým ustavením elektromotoru a hnané jednotky vůči sobě. Problémy s nevyvážeností vznikají často už při výrobě elektromotoru, proto je důležité získat údaje o vibracích už při záběhu. Valivá ložiska vytváří různé frekvenční složky, které mají svůj původ v nedokonalosti nebo porušení dotykových ploch na valivém elementu, kroužku či valivých drahách. Chvění způsobeno mechanickými příčinami se konstrukcí dobře šíří, na což je třeba pamatovat při instalaci zařízení na dané místo. Vibrace působí velmi špatně na životnost

motoru, a při jejich ignorování dochází k brzkému dosloužení motoru, ohrožení navazujících mechanismů i lidských životů.

Všechny tyto problémy lze pomocí diagnostiky zachytit, měřit a analyzovat při běžném provozu motoru (bez jeho odstávky). Obecně se závady mohou projevit vibracemi, hlukem, přehříváním, nedostatečným krouticím momentem při jmenovitých hodnotách, deformací sinusových průběhů napájecího proudu atd. Při diagnostikování elektromotoru je třeba přihlížet na technický stav poháněného mechanismu a naopak.

4.2 Čerpadla

Tato kapitola a její podkapitola byla vytvořena pomocí literatury [1]

Jsou to mechanické stroje, které dodávají kinetickou, potencionální nebo tlakovou energii kapalině, která skrz něj proudí. Jsou spojovány hřídelí přes spojku většinou s elektromotory. Dělíme je na:

- Hydrostatická

Zde se jedná o vytváření především hydrostatické energie. Jsou to nejčastěji pístová čerpadla ale také rotační jako zubová, lamelová, vřetenová. Mají větší účinnost než čerpadla hydrodynamická.

- Hydrodynamická

Používají ke své činnosti dynamických sil, jako jsou odstředivé síly. Jsou to čerpadla lopatková a proudová. Dále se podle výstupu kapaliny dělí na radiální, axiální a diagonální. Jsou jednostupňová nebo vícestupňová.

4.2.1 Vibrace čerpadel

Kavitační jev

Je založen na spontánním vzniku malých bublinek (kaveren) v čerpané kapalině. Vzniká, když tlak v daném místě poklesne pod určitou úroveň. Tato úroveň je dána tlakem nasycených par čerpané kapaliny, obsahem plynů a pevných částic atd. U odstředivých čerpadel je místo vzniku většinou na náběžných hranách lopatek oběžného kola. Dále jsou unášeny proudem kapaliny a vstupují do oblastí s větším tlakem. Zde zanikají tzv. implozí, při které jsou vyvinuty tlakové vlny, které jsou schopny narušit vnitřní povrch čerpadla.

Tyto vlny mají velké amplitudy a rychlost a při setkání s pevným povrchem čerpadla je část této energie přeměněna na vibrační.

Tyto vibrace se ve frekvenčním spektru projeví jako nárůst širokého spektra frekvenčních složek. Tento nárůst není rovnoměrný, ale zesílen v místě rezonančních frekvencí a jinde může být potlačen. Při zvětšování průtoku lze kavitace snadněji určit.

Lopátkové vibrace

Kapalina je nucena obtékat jednotlivé lopatky, a tím pádem musí měnit svůj směr. Tyto změny směru jsou spojeny se vznikem tlakových pulzů, které vyvolávají tlakové vlny, jež opět naráží na povrch hydraulicky aktivních částí čerpadla a tím vyvolávají vibrace.

Vibrace jsou zachytitelné jako periodické síly, které souvisejí s rotací hřídele čerpadla. Ve frekvenčním spektru je detekujeme na frekvencích, které odpovídají násobku frekvence otáčení hřídele. Z toho vyplývá, že při diagnostice čerpadla je dobré znát počet lopatek nacházejících se na oběžném kole.

5 Aplikace měření vibrací v praxi

Cílem této práce je zhodnotit technický stav horizontálních čerpadel nacházejících se ve společnosti Koksovna Svoboda.

5.1 Popis společnosti

Tato kapitola byla vytvořena dle [4]

Koksovna Svoboda byla založena roku 1908 a nesla název František. Za dobu svého provozu byla několikrát přejmenována (Generál Svoboda, Vítězný únor, Svoboda). Roku 1952 se stala součástí Ostravsko karvinských koksoven (OKK), s nimiž sdílela všechny další proměny. Dnes je jediným vlastníkem nizozemská společnost New World Resources.



Obr. 16 Pohled na koks připravený k expedici

V podniku se dnes nachází čtyři koksárenské baterie s 210 komorami. Kapacita těchto komor je 16 tun koksu, přičemž jeden jejich výrobní cyklus trvá 32 až 34 hodin. Koks zde je vyráběn pěnchovací technologií a je špičkové evropské kvality s dobrou pověstí. Nejvhodnější je pro použití ve slévárenské výrobě a nově také při technologiích na výrobu

izolačního materiálu. Velkými odběratelem této produkce je Německo, Rakousko, Rusko, Slovensko.

Jako další je zde vyráběn vysokopecní koks. Tento materiál je používán ve vysokých pecích a plní úlohu redukčního činidla, zdroje tepla a slouží též jako nosný a výplňový materiál, kterým cirkuluje plyn ve sloupci vysokopecní sázky. Je dodáván do třineckých železáren, ale také do Ruska a Finska. Ročně koksovna vyprodukuje přibližně 800 tisíc tun koksu.

Další produkt vznikající při výrobě koksu je koksárenský plyn, který je nutné před dalším používáním upravovat. Speciálníma technologiemi jsou z něj odlučovány chemikálie jako dehet, benzol, síran amonný a elementární síra. Jedná se o vedlejší produkt, který je prodáván a využíván v chemickém průmyslu. Plyn je čištěn pod hranici 50 mg/m³ těchto látek.

Na továrnu navazuje Koksovna Jan Šverma, která v dnešní době už není v provozu. Zůstal v provozu pouze jímka na plyn, který je zde dopravován potrubím z Koksozny Svoboda.

5.2 Popis vybavení

Diagnostický přístroj, který máme k dispozici, nese označení VA4 a je prototypem vibračního analyzátoru od firmy ADASH. Jedná se o přístroj, který vznikl skloubením klasického tabletu s dotykovým displejem a speciální karty, která umožňuje připojení měřících sond a převod signálu na data zpracovatelná příslušným softwarem.

Software, který tento přístroj využívá je tentýž jako u finální verze tohoto přístroje, který firma ADASH vyvinula. Jedná se o přístroj A4400 - VA4Pro, který disponuje téměř totožnými parametry:

- 25 600 čar FFT, 24 bitový A/D převodník
- Paralelní signálové procesory pro nejrychlejší zpracování dat [5]

K vyhodnocení dat byl použit počítačový software od téže firmy s názvem DDS2007.



Obr. 17 Analyzátor/datakolektor A4400-VA4

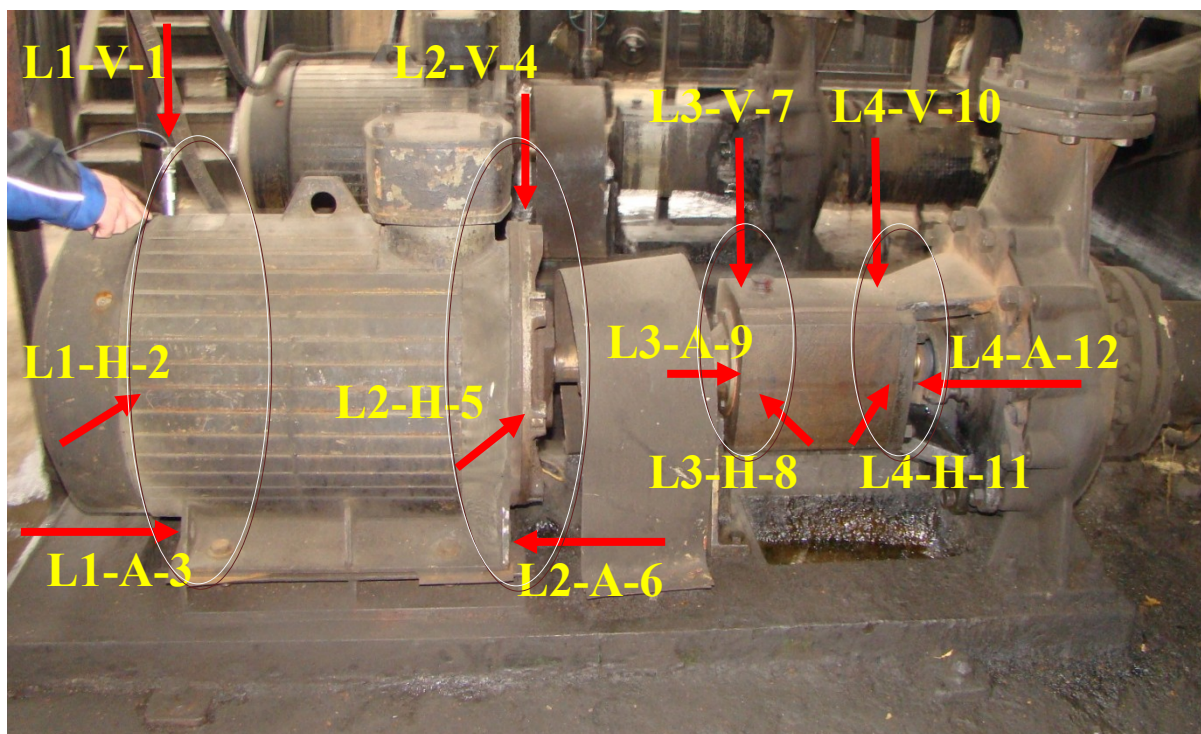
Snímačem vibrací je akcelerometrická sonda, která využívá magnetického upevnění. Při tomto upevňování je třeba dbát na správné přiložení sondy. Musí být zvolna přiložena na místo snímání vibrací. Povrch, z kterého budeme vibrace snímat, by měl být rovný, zbavený nečistot. Po přiložení se musíme ujistit, jestli sonda správně doléhá – neviklá se, a drží pevně na svém místě. Jelikož se jedná o permanentní magnet, na sondu se lepí železné piliny, které je nutno průběžně odstraňovat.

5.3 Diagnostikovaný objekt

Budeme se zabývat analýzou technického stavu čerpacích soustrojí (tzn. motor, spojka, čerpadlo).

Pro každou takovou sestavu jsme si určili postup přikládání snímače na určité body, v kterých jsou očekávány největší vibrace.

Na sestavě se nacházejí 4 hlavní ložiska, L1 a L2 se nachází na motoru, L3 a L4 se nachází na čerpadle. Na fotce vidíme i spojku, která je zakryta ochranným krytem, z ní ovšem snímat data nebudeme.



Obr. 18 Místa snímání vibrací

Vysvětlení značení na příkladu LI-V-1:

L1 – znamená ložisko 1, na dané sestavě se vždy nacházejí 4 základní ložiska, na kterých se objevují nejspecifičtější vibrace.

V – měřeno vertikálně, pro každé ložisko jsme měřili 3 základní polohy: vertikální, horizontální a axiální

1 – jedná se o první bod, body jsou číslovány podle pořadí měření, což nám usnadní orientování se v datech dále zpracovávaných

Tyto základní body jsme určili jako prioritní a pokusili se je naměřit na každé sestavě. Někdy nám to ovšem nebylo umožněno kvůli rozměrům sondy a nepřístupnosti k danému místu na čerpadle. Jednalo se většinou o axiální směr. V případě zjištění nějaké vady, jsme určili přídatné body, pro její lepší specifikaci.

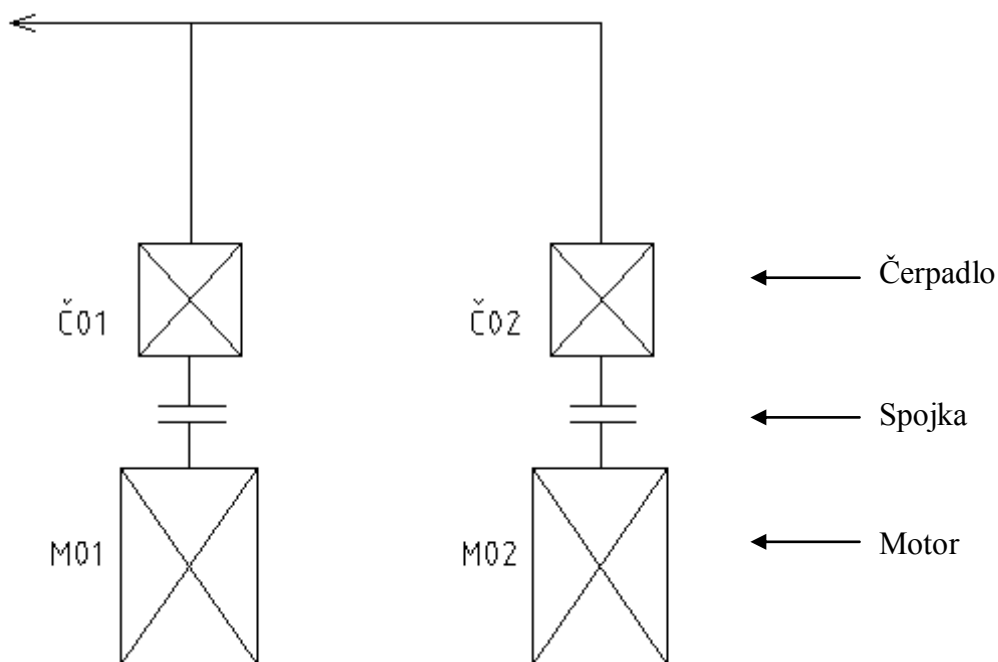
5.4 Horizontální čerpadla na venkovním stanovišti

Jedná se o čerpadla, jejichž médiem je voda. Jsou spárovány do dvojce připojené na jedno potrubí. Celá soustava se nachází venku, zakrytá drobnou stříškou, jenž chrání proti dešti a skapávající vodě z potrubí, jehož se zde nachází mnoho. Díky proměnlivým teplotním podmínkám a velkému výskytu vody můžeme říct, že na soustavu působí i vnější vlivy.



Obr. 19 Pohled na čerpadla na venkovním stanovišti

Jak je na obr. 19 vidět, čerpadla i motory se nacházejí na mohutném betonovém rámu na který je připevněna masivní ocelová deska. Celý základ byl navržen pro větší motor s čerpadlem, který zde kdysi pracoval. Časem byla provedena výměna motoru za novější, který díky vývoje technologii má menší rozměry při zachování stejných výstupních parametrů. Kvůli nutnosti zachování osové výšky musely být motory vypodloženy.

Schéma:**Parametry:**

Jsou totožné pro obě sestavy:

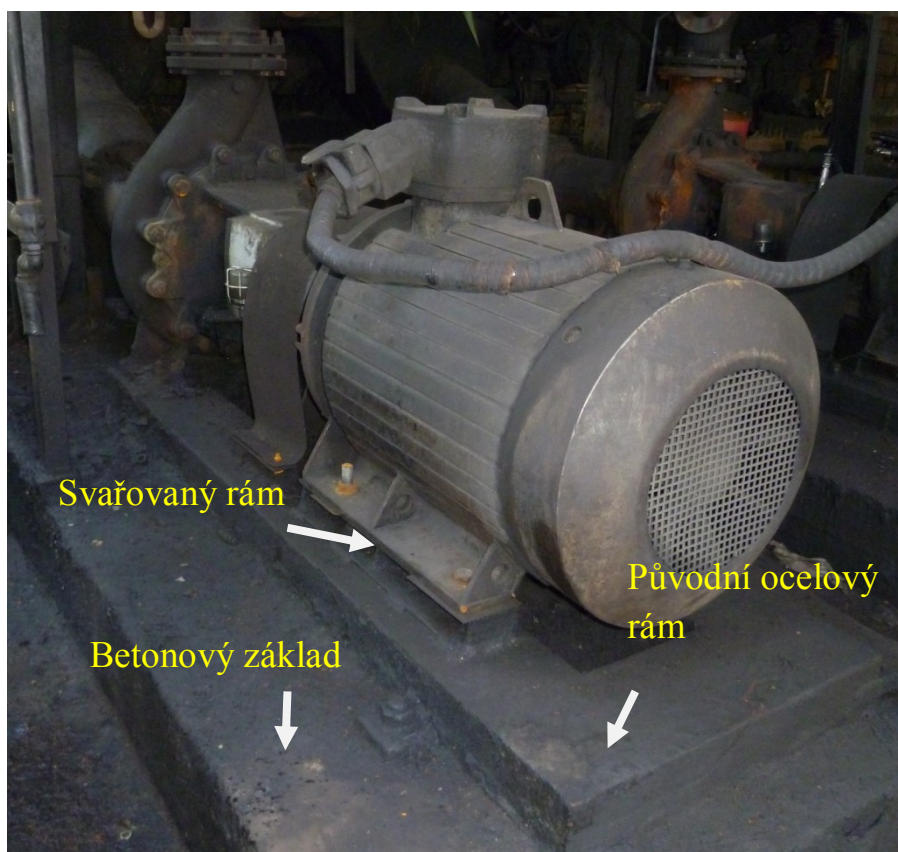
Motor je asynchronní 3 fázový, vyrobený bývalou firmou MEZ Frenštát

Výkon 55 kW

Provozní štičkové otáčky: 1475 ot/min

Frekvence 50 Hz

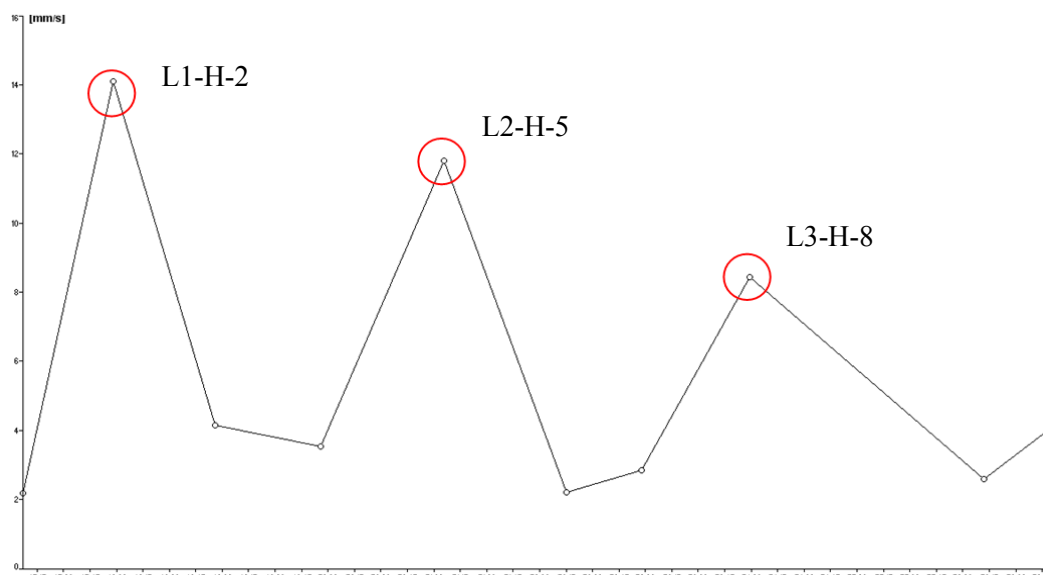
5.4.1 Sestava 01



Obr. 20 Sestava 01 s vyznačenou stavbou základu totožnou jako u sestavy 02

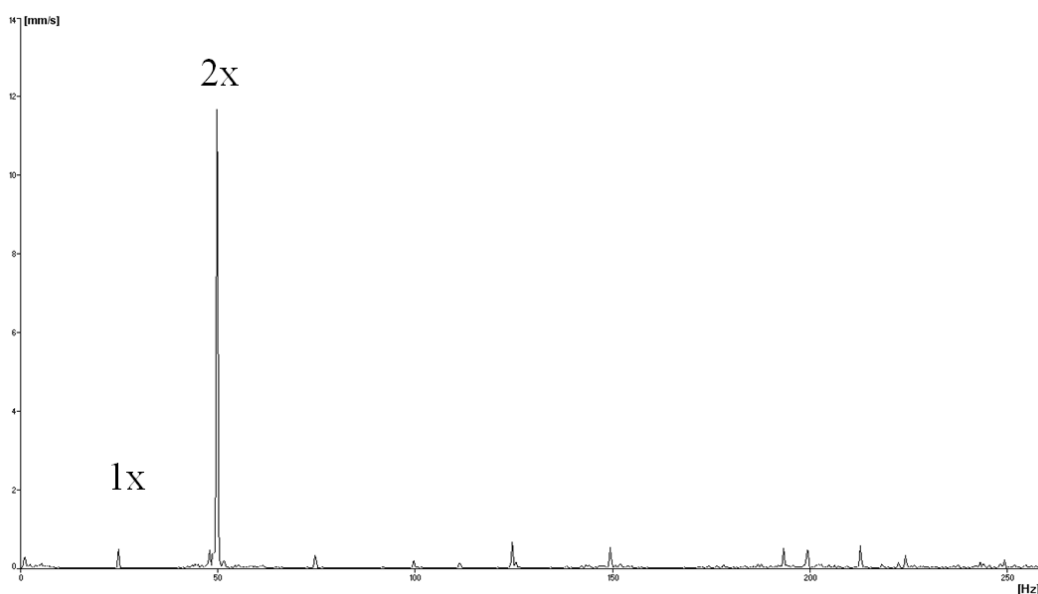
Na této sestavě jsme naměřili velmi velké vibrace. Dle normy ISO 10 816-3 se jedná o elektromotor, který řadíme do skupiny dva (stroje střední velikosti s výkonem 15- 300 kW). Podle hodnot vibrací spadá do pásma D a dokonce překračuje hodnoty tabulky. V tomto pásmu jsou dle normy vibrace natolik nebezpečné, že mohou vyvolat další poškození stroje. Dle ISO 10816-7 řadíme čerpadlo také do třídy D, což znamená, že tyto vibrace jej můžou také vážně poškodit. Norma [11]

Při zkoumání grafu s efektivními hodnotami rychlosti vibrací jednotlivých bodů zjišťujeme, že největší vibrace se nacházejí v horizontálním směru a to na všech ložiscích. Maximální vibrace jsme ovšem naměřili na ložisku 1 v bodě L1-H-2. Při vzdalování se od tohoto bodu vidíme, že hodnoty vibrací klesají současně se vzdáleností. (obr. 21)



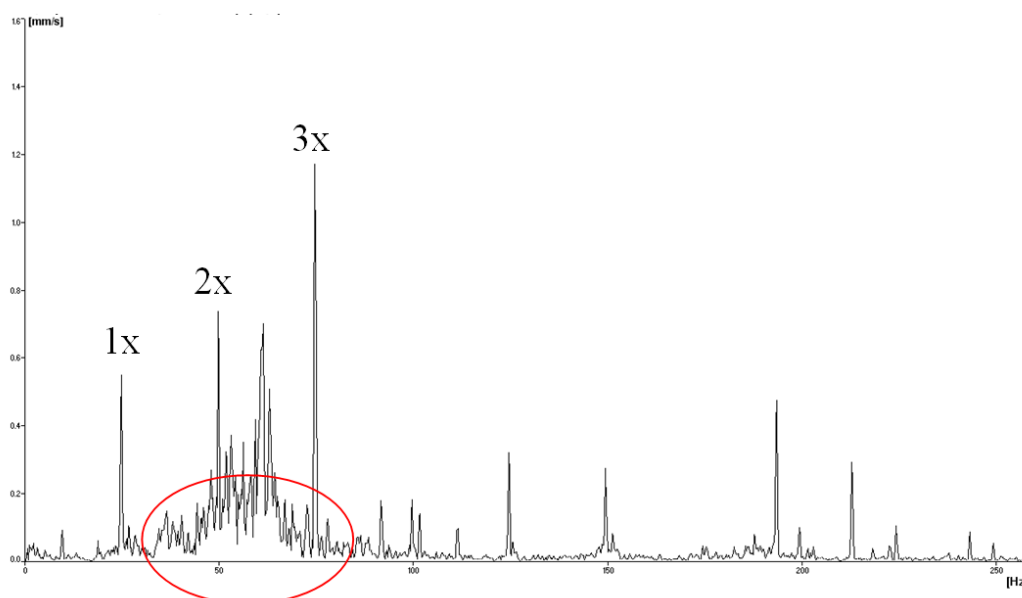
Obr. 21 Zobrazení efektivních hodnot rychlosti vibrací všech měřených bodů v pásmu 10-1000 Hz s vyznačením nejvyšších vibrací v horizontálním směru. [6]

Při rozboru frekvenčního spektra bodu L2-H-5 vidíme, že největší amplituda se nenachází na první otáčkové frekvenci, ale až na jejím druhém násobku. Podle vzhledu tohoto spektra lze usoudit, že se zde jedná o problém s nesouosostí. (obr. 22)



Obr. 22 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací motoru na druhém ložisku v horizontálním směru (L2-H-5)

Rozbor dalšího spektra z bodu L1-A-3 tudíž axiálního směru je poměrně náročný, jelikož zde máme nejen složky harmonické, ale i interharmonické (obr. 23). V oblasti do 100 Hz je také neobvyklý nárůst vibrační energie. Je to jev, který nás upozorňuje na značný vývoj dané poruchy.



Obr. 23 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací motoru na druhém ložisku v axiálním směru (L2-A-6) [6]

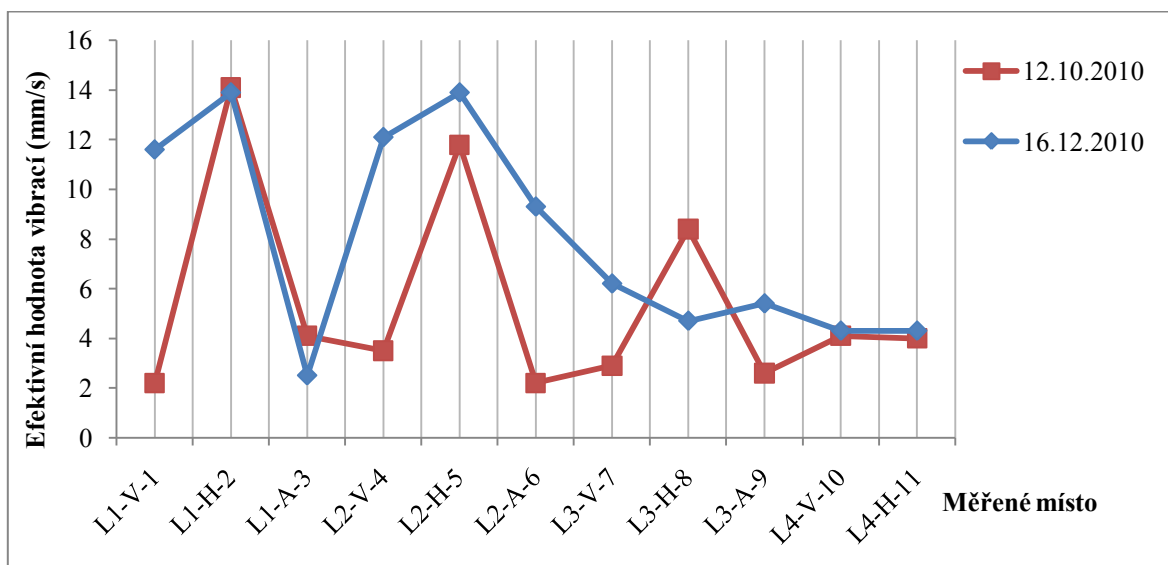
Jelikož se tyto vibrace nacházejí v axiálním směru, je zde podezření na problém se spojkou. Na prohlédnutí spojky čerpadla za provozu jsme v tomto případě použili fotografický aparát, který dokázal zachytit spojku nerozmazaně a tím nám odhalit příčinu těchto vibrací. Po prohlédnutí snímku (obr. 24) jsou vidět chybějící silonové kroužky, a náznak vypadávání dalšího.



Obr. 24 Pohled na vadnou spojku s vypadanými silonovými kroužky [6]

Vlivem absence těchto kroužků dochází k vytvoření nesymetrie záběru spojky a tím k zvětšování nesouososti spojky, která se nejvíce projevuje v horizontálním směru. Motor je postaven na svařované konstrukci z U-profilů, která disponuje malou tuhostí, a proto jsou vibrace přenášeny na všechny ložiska nacházející se v této sestavě. Jelikož čerpadlo se nachází na původním základu, vibrace na něm jsou nižší a způsobuje to onen efekt snižujících se vibrací.

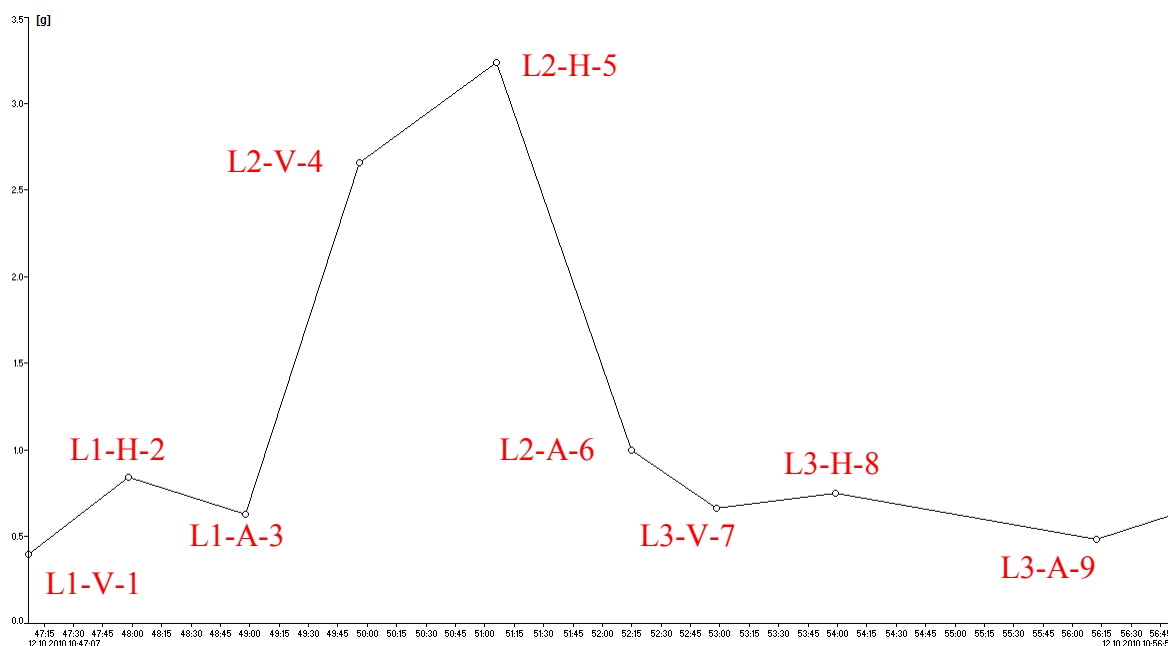
Trend vývoje vibrací:



Obr. 25 Trend vývoje rychlosti vibrací sestavy 01

Pomocí trendu vývoje efektivních hodnot rychlosti vibrací je viditelné zhoršení stavu ložiska L2 nacházejícího se na motoru u porušené spojky. Zvětšení vibrací je značné hlavně u vertikálního a axiálního směru, ale také v horizontálním (obr. 25). Z tohoto je patrné, že vývoj závady je velký a blíží se poruchový stav.

Jelikož jsou vibrace velmi vysoké, ovlivňují negativně i ložiska. Pro zkoumání stavu ložisek využijeme grafu celkových hodnot zrychlení všech bodů s pásmem v rozmezí od 500 do 25 000 Hz. (obr. 26)



Obr. 26 Efektivní hodnoty zrychlení všech měřených bodů v pásmu 5-25 kHz

Jak vidíme ložisko L2 vykazuje velmi vysoké hodnoty blížící se k 3,5 g. Tato hodnota znamená vysoké opotřebení, a blížící se havárii. Je to způsobeno tím, že ložisko se nachází v těsné blízkosti vadné spojky, která navíc vykazuje nesouosost.

Vyhodnocení:

Hlavní problémy zde nalezené jsou tedy nesouosost a poškození spojky, a důsledkem toho i vada ložiska. Vzhledem k velmi vysokým vibracím je nutné zařízení co nejdříve odstavit z provozu, aby nedošlo k druhotným ztrátám na majetku, nebo k úrazu.

Jelikož zde nejsou plánovány žádné investice do nového zařízení, byla by vhodná jeho oprava.

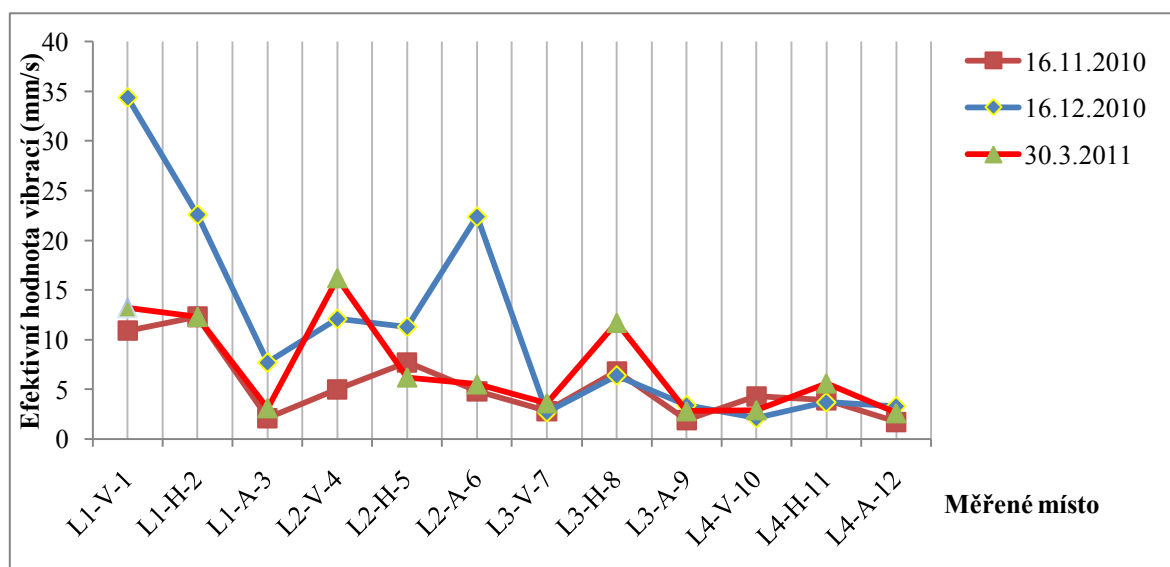
Doporučení pro tuto sestavu je odšroubování motoru, výměna vadného ložiska, zpevnění rámu, na kterém je přikotven, dále správné vyosení spojky a doplnění chybějících silonových kroužků.

5.4.2 Sestava 02

Zde jsou naměřené hodnoty opět velmi vysoké. Podle normy ISO 10 816-3 pracuje tento elektromotor také s vibracemi v pásmu D. Podle ISO 10816-7 se vibrace na čerpadle řadí do pásma D. Jedná se opět o tak velké vibrace, že mohou zapříčinit další poškození stroje. Norma [11]

Při prozkoumání grafu s efektivními hodnotami vibrací vidíme, že jsou zde hodnoty opět největší na motoru a to v horizontálním směru. Směrem k čerpadlu se vibrace snižují. Z toho usuzujeme, že problém budeme muset hledat opět na motoru.

Trend vývoje vibrací



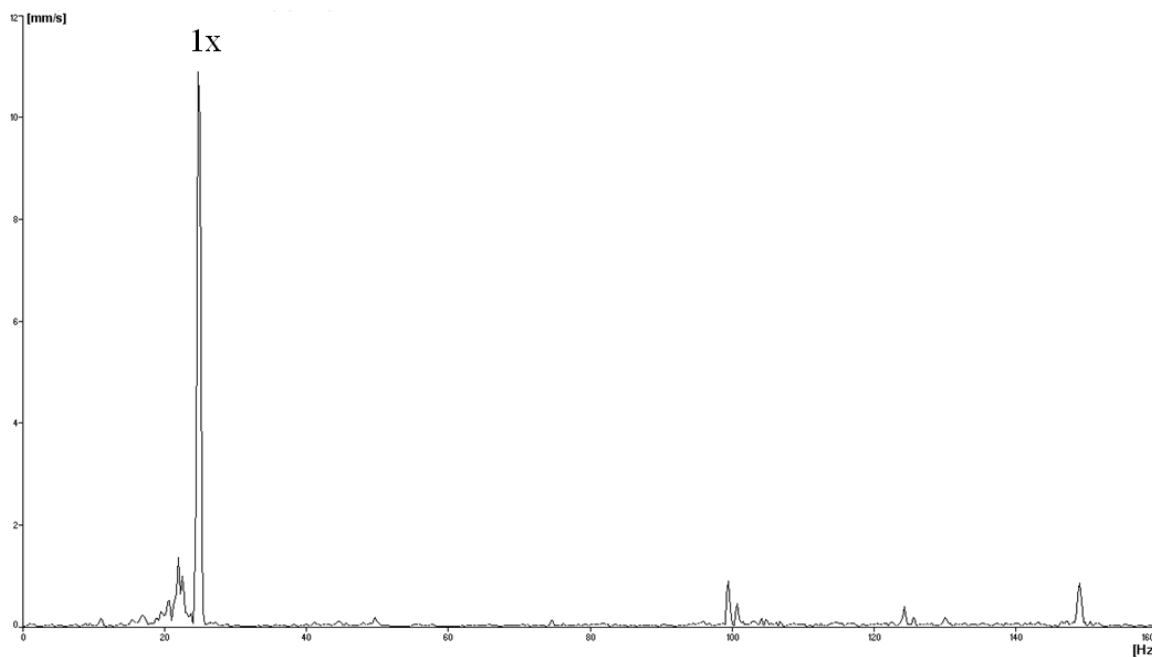
Obr. 27 Trend vývoje rychlosti vibrací sestavy 02

Z tohoto grafu je patrné (obr. 27), že vibrace se neustále zvětšují. Křivka modré barvy je poněkud zavádějící, jelikož jsme sestavu proměřovali pár minut po jejím spuštění.

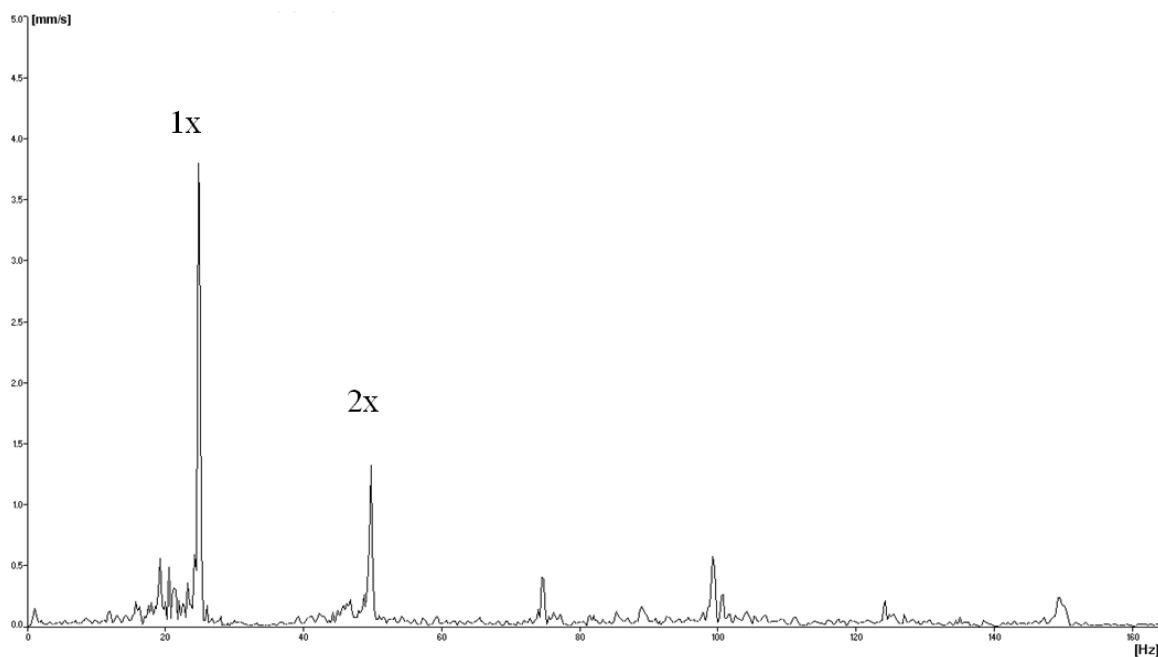
Sestavy 01 a 02 jsou přepínány poměrně často, a můžeme předpokládat, že při každém přepnutí musí sestava snášet takto vysoké hodnoty vibrací. V takovýchto rozjezdech sestavy jsou velmi namáhané ložiska, spojka i svařovaný rám, a dochází k zvětšování závad.

Povšimněme si křivek odstínů červené barvy. Jedná se o měření s odstupem 4 měsíců na sestavě 02 při provozu delší dobu. Je zde vidět razantní nárůst na ložiskách L2 a L3, které se nacházejí u spojky. Z toho vyplývá, že v průběhu těchto 4 měsíců došlo k zvětšení nesouososti.

Při zkoumání frekvenčního spektra v místě výskytu největších vibrací a to v horizontálním bodě L1-H-2 vidíme, že zde dominuje amplituda, která se nachází na hodnotě 24,75 Hz, což odpovídá v přepočtu 1485 ot/min (štitkové otáčky jsou 1485 ot/min). To znamená, že se jedná o první násobek otáčkové frekvence. Dá se říci, že se zde vyskytuje problém s nevyvážeností. (obr. 28)



Obr. 28 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací motoru v bodě 2 v horizontálním směru (L1-H-2)



Obr. 29 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací motoru v bodě 6 v axiálním směru (L2-A-6)

Obr. 29 je frekvenční spektrum druhého ložiska v axiálním bodě L2-A-6, které nám zase říká, že se zde nachází nesouosost.

Tyto výsledky jsou poněkud rozporuplné, a tak můžeme předpokládat, že se jedná o problém širšího rázu. Největší hodnoty jsme naměřili opět na motoru, proto na něj zaměříme pozornost. Takto velké vibrace budou s největší pravděpodobností znamenat mechanickou závadu. Proto začínáme stroj zkoumat důkladně opticky i hmatově.

Při ohledání zjišťujeme zvláštní provedení ustavení motoru pomocí plechových podložek, nacházejících se pod šrouby. Pro zjištění možné poruchy nacházející se v těchto místech, měříme více bodů na rámu. (obr. 30)



Obr. 30 Pohled na ukotvení motoru

Pouhým hmatem nacházíme místa, kde vibrace přecházejí z vysokých řádů na nižší. Po očištění jsou v těchto místech viditelné trhliny ve svarech, které způsobily nízkou tuhost rámu, a vysoké vibrace celého motoru, přenášené do dalších částí sestavy.

Na následujících fotografiích vidíme velikost prasklin, na kterých při přiložení prstu cítíme rozdíly vibrací jednotlivých částí. Tento rozdíl jde cítit jako rozevírání a zavírání trhliny.

Na fotografii je vidět, že rám již nejspíš prošel opravou svařováním, jelikož se zde nachází více housenek. (obr. 31)



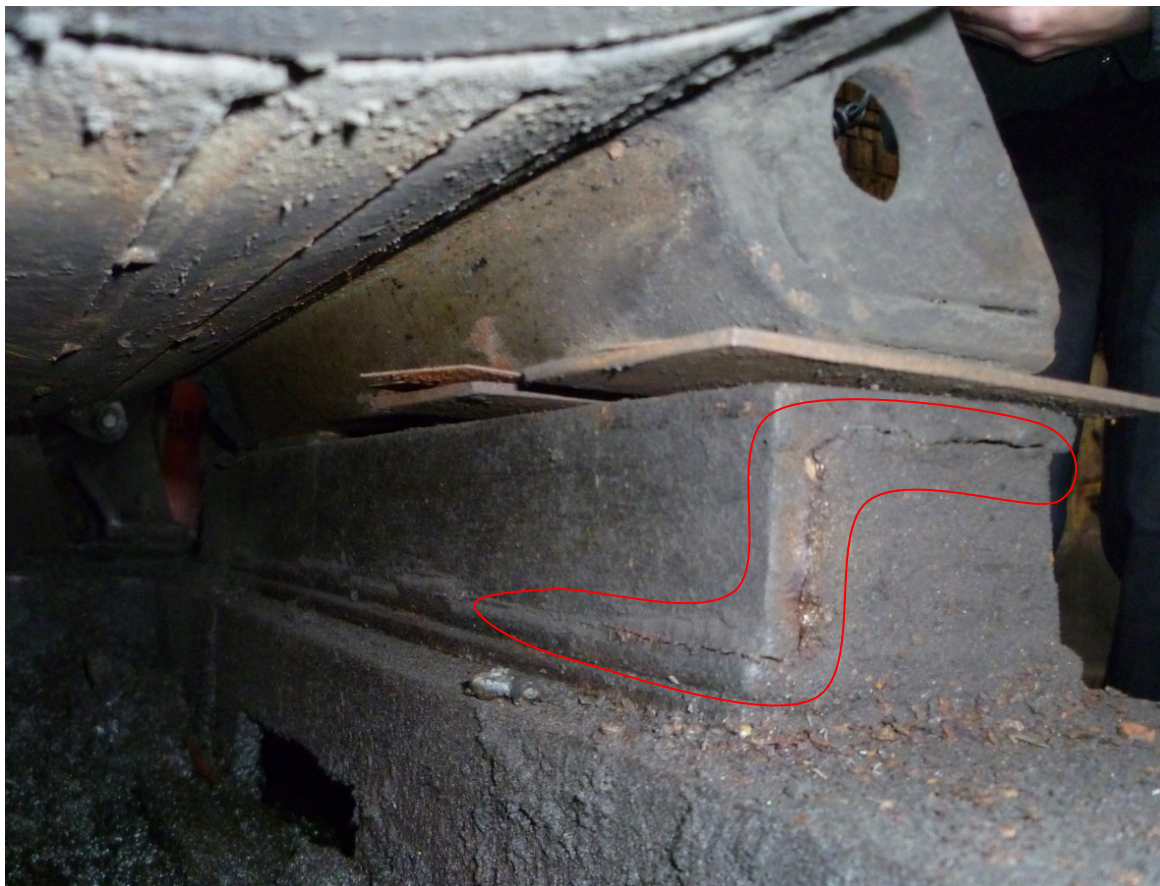
Obr. 31 Pohled zezadu na prasklou pravou svařovanou konstrukci v místě svaru pod patkou

Z dat zjišťujeme, že svařovaný rám má velké hodnoty vibrací a patky elektromotoru ještě větší. V klasickém případě by se na patkách měly vyskytovat minimální vibrace za předpokladu, že elektromotor je kvalitně připevněn. Toto znamená mechanické uvolnění způsobené popraskáním svařovaného rámu.

Změřené hodnoty vibrací z podstavného rámu:

Místo měření vibrací	Celkové hodnoty vibrací z patek	Celkové hodnoty vibrací ze svařovaného rámu
Zadní levá strana	23,6 mm/s	9,4 mm/s
Přední levá strana	16 mm/s	4,1 mm/s
Přední levá strana	18,8 mm/s	3,7 mm/s
Zadní pravá strana	36,1 mm/s	6,9 mm/s

Použil jsem data z 16. 12. 2010 kdy kvůli rozběhu byly vibrace největší. Z hodnot lze usoudit, že motor má velmi popraskaný podstavný rám a to nejvíce pod zadní částí. V místě spojení motoru se spojkou jsou praskliny nejméně rozsáhlé.



Obr. 32 Pohled zezadu na prasklou levou svařovanou konstrukci

Jak je vidět na obr. 32 prasklina je větší, a její stahování je agresivnější. Není opravovaná, a proto se rozšířila mnohem dále po konstrukci.



Obr. 33 Pohled z boku na levou stranu s vyznačením praskliny a místa bez porušení

Zde je označené žlutou barvou místo, které jako jediné má malé vibrace, tudíž nemá porušené svary. Červenou barvou je označena prasklina, která byla nalezena po očištění. (obr. 33)

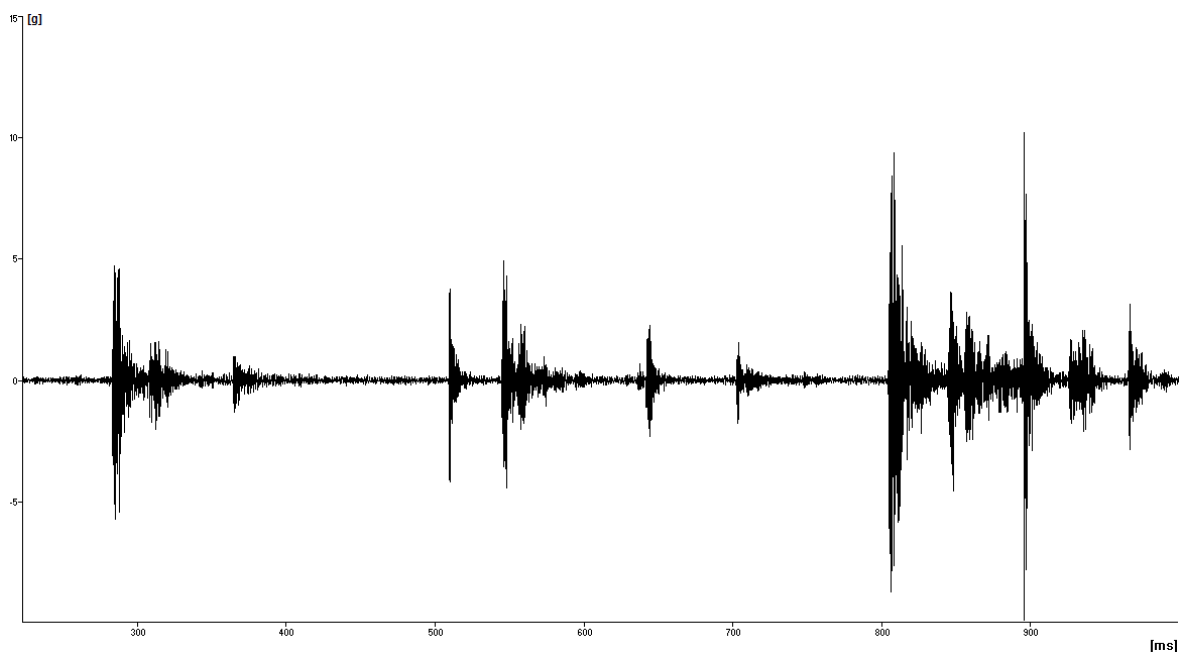
Porušení rámu je natolik veliké, že nám zkresluje spektrum vibrací, které se nejeví jako obvyklé spektrum vibrací pro mechanické uvolnění, ale naznačuje nevyváženost. Z tohoto důvodu je velmi důležité při diagnostikování závady stroje postupovat komplexně, a všimnout si všech detailů, které nám mohou lokalizovat závadu a prozradit příčinu vysokých vibrací ještě před analýzou naměřených dat

Kavitace

U čerpadla Č02 byly slyšet opakované rázy uvnitř potrubí v místě, kde tvořilo zalomení o 90°. Jednalo se o velmi výrazné rázy, které člověka zarazily už při prvním přiblížení k čerpadlu.

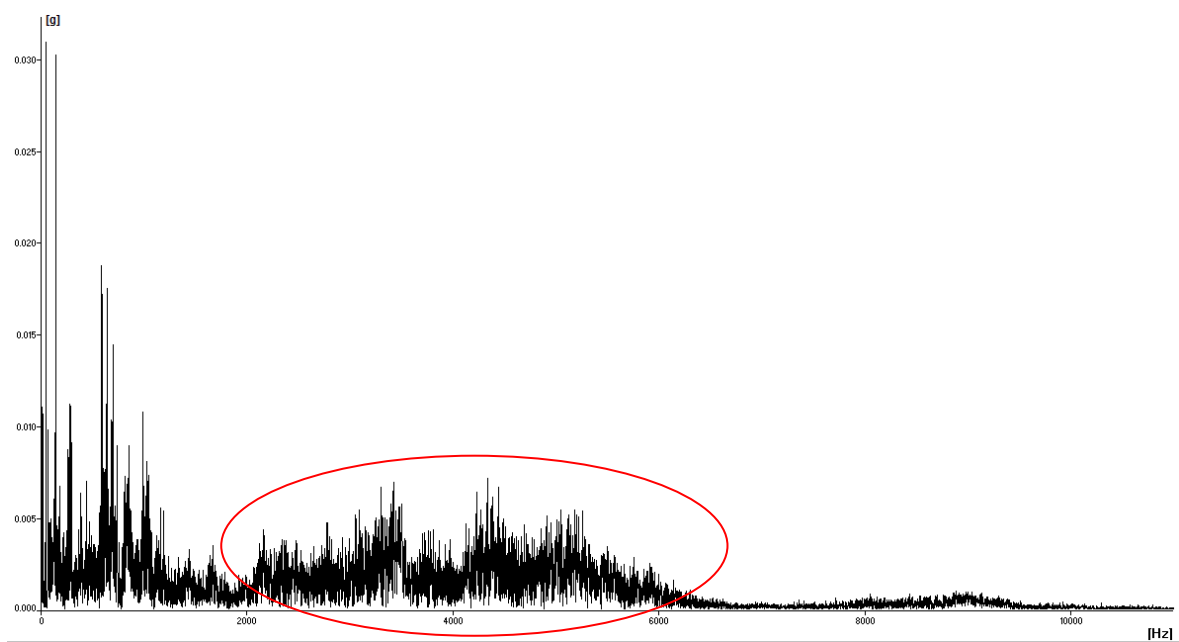


Obr. 34 Zobrazení potrubí se zakroužkovaným zdrojem kavitačních rázů a místem snímání vibrací



Obr. 35 Časový záznam z místa zobrazeného na obrázku pro 500-25 600 Hz

Jak je vidět na časovém záznamu (obr. 35), jedná se o rázy s velkým zrychlením, které jsou způsobeny zanikáním kaveren na stěnách potrubí.



Obr. 36 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací ze stejného místa pro 1-10 000 Hz

Na obr. 36 vidíme neobvyklé spektrum, které způsobují nepravidelné nárazy kaveren zanikajících na stěnách potrubí. Vibrační špičky se nacházejí na frekvencích, které jsou mimo otáčkové spektrum. Můžeme si také povšimnout velké vibrační energie na vysokých frekvencích typické pro kavitační jev.

Vyhodnocení:

Stroj je nutno okamžitě odstavit z provozu, aby nedošlo k ještě většímu poškození dalších částí sestavy, nebo nedošlo k utržení motoru, které by mohlo způsobit velké finanční ztráty a v horším případě někoho zranit.

Při odstávce musí být vyměněn svařovaný rám za rám lepší konstrukci, která by například byla vytužena i v příčném směru vzpěrami spojující pravou a levou stranu. Až po této výměně budou zjistitelné další možné závady, jelikož mechanické uvolnění motoru je natolik velké, že zakrývá ve spektrech vibrací další možné problémy vzniklé na sestavě.

Na potrubí byla nalezena kavitace, kterou je třeba také v brzké době odstranit, aby nezpůsobila veliké oslabení stěn trubek a tím neohrozila provoz obou sestav.

Při diskuzi s místním technikem zjišťuji, že sestavy v brzké době nebudou opraveny, jelikož toto venkovní stanoviště nedisponuje možností zvednout motor pomocí zdvihací techniky, ani zde není možnost použití kladky. Proto zůstává sestava v provozu i nadále, nejspíš až do poruchového stavu.

5.5 Horizontální čerpadla v hale

Tyto čerpadla slouží k zajištění procesu odlučování benzolu z koksárenského plynu

Odlučování benzolu

Jedná se o speciální technologii, při níž je koksárenský plyn hnán přes olej, do kterého je benzol odlučován, jedná se o tzv. přepírání koksárenského plynu. Z oleje je surový benzol oddělován destilací. Je to uzavřený okruh, kde je potřeba soustavy čerpadel, které zajišťují proudění oleje a ostatních potřebných tekutin jako je deflegmát a odpadní voda. Jelikož koksárenský plyn je velmi horký, olej je jím ohříván na teplotu až na cca 80°C. Než se dostane k diagnostikovaným čerpadlům, má teplotu okolo 50°C. Tato teplota je přes hřídel a spojku přenášena na motor, který má na svém konci chladicí ventilační systém. Tím vzniká velký teplotní spád. Který může zapříčiňovat různé problémy.

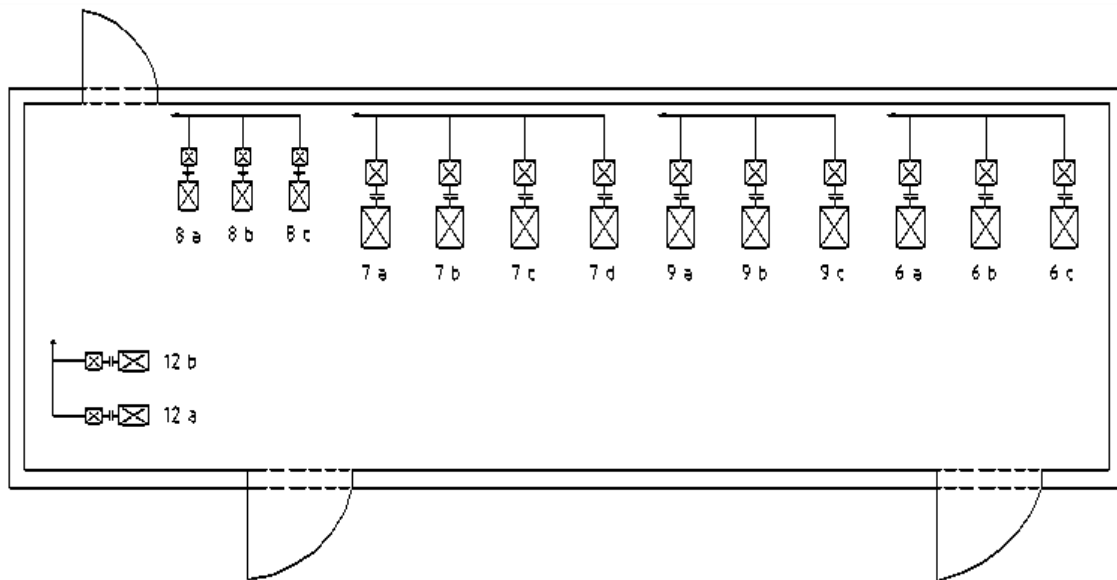
V hale, kde je olej rozháněn se nachází čerpadla spárované podle důležitosti do dvojic až čtveřic pro každou větev. Z tohoto páru je spuštěno pouze jedno čerpadlo. Jedná se o proces s velkou návazností, tudíž je důležité, aby nedocházelo k žádným výpadkům. V případě poruchy je jednoduše spuštěno čerpadlo další, nacházející se na stejné větvi. Žádné z těchto čerpadel se nedá označit jako záložní, jelikož jejich provoz je neustále střídán a tím zajišťován provozuschopný stav všech čerpadel.



Obr. 37 Celkový pohled na provozní halu

V hale se nachází čerpadla, která zajišťují proudění oleje, deflegmátu a odpadní vody. Jedná se o velmi zdravotně nepříznivé místo, jelikož je špatně osvětleno a benzol je cítit všude, dokonce i po opuštění haly je oděv tímto zápachem velmi dlouhou dobu nasáklý.

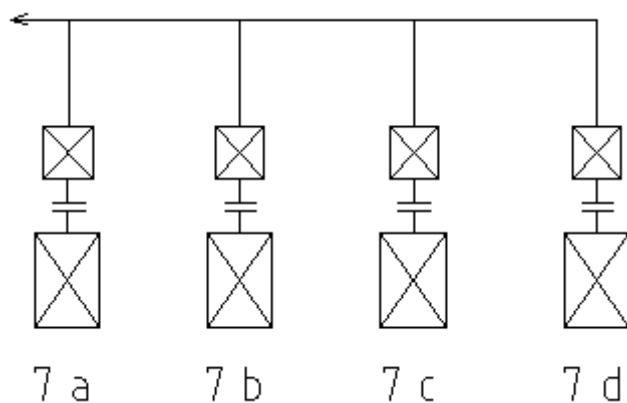
Schéma haly:



Obr. 38 Schéma haly s vyznačenými východy a čerpadly spárovanými do větvi

5.5.1 Větev číslo 7

Čerpané médium v této větvi je horký odehnaný olej



Parametry:

Motor je asynchronní 3 fázový, vyrobený bývalou firmou MEZ Frenštát

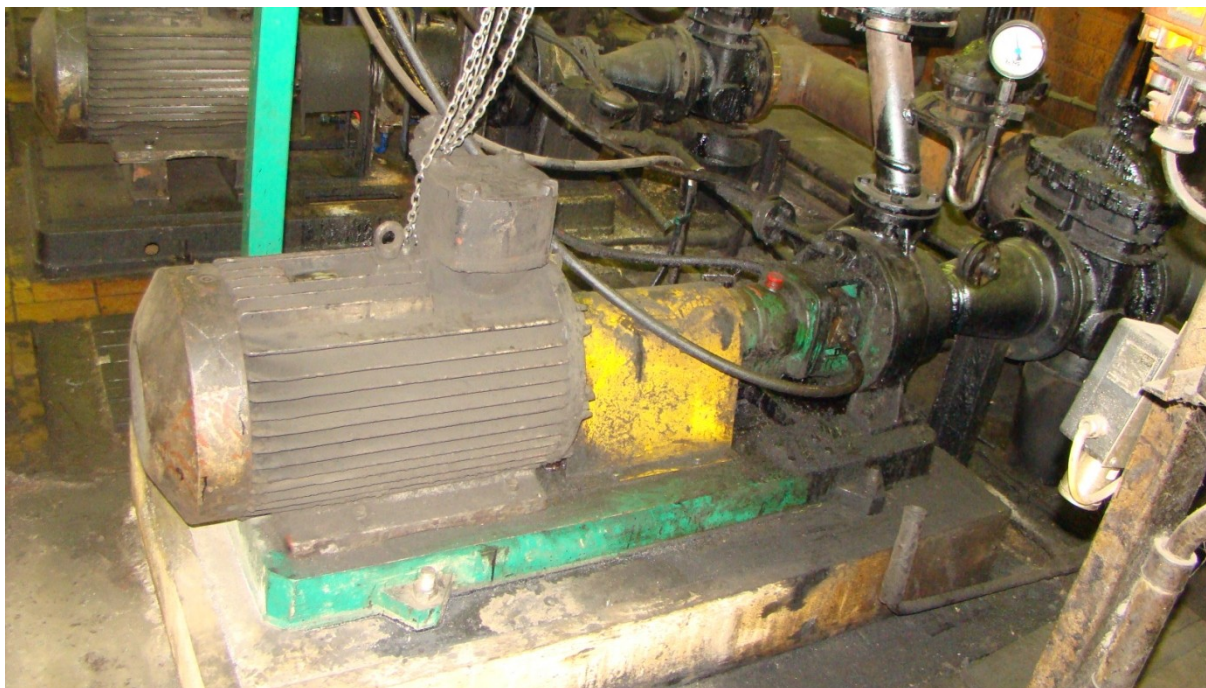
Výkon 30 kW

Provozní štičkové otáčky: 2950 ot/min

Frekvence 50 Hz

Čerpadlo pracuje s tlakem 0,7 MPa

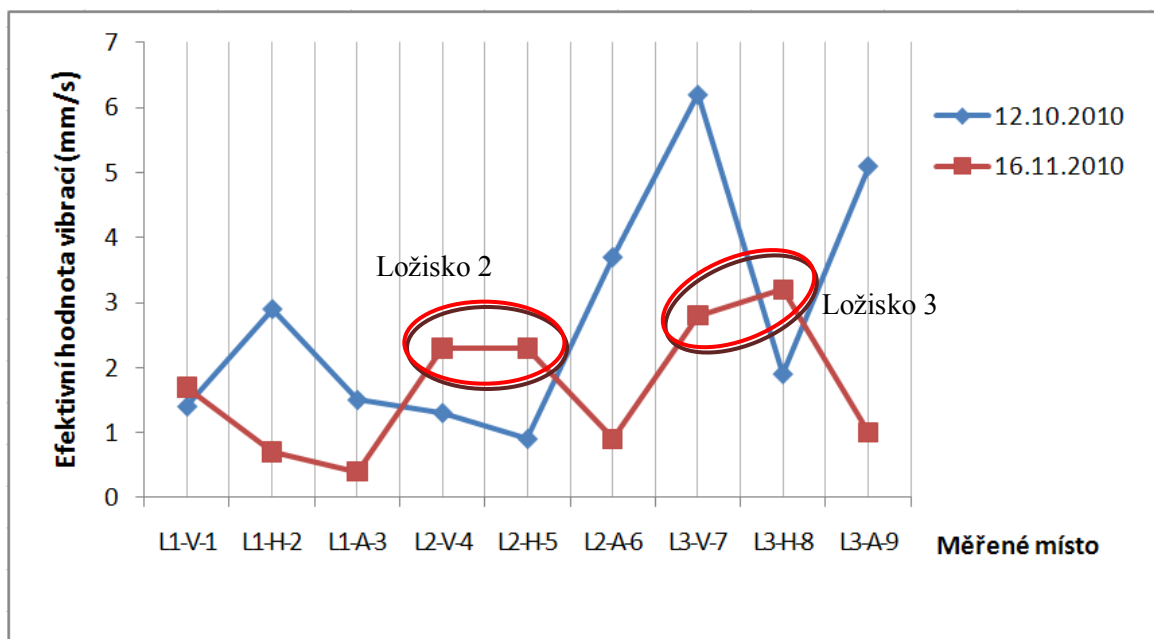
Sestava 7c



Obr. 39 Pohled na sestavu 7c čerpající horký odehnaný olej

Tato sestava nemá žádný člen, kterým by byl vypořádán motor. Pomocí zrakového a hmatového pozorování na těchto dvou sestavách nebyly pozorovány žádné trhlinky ani mechanické uvolnění.

Naměřené hodnoty:

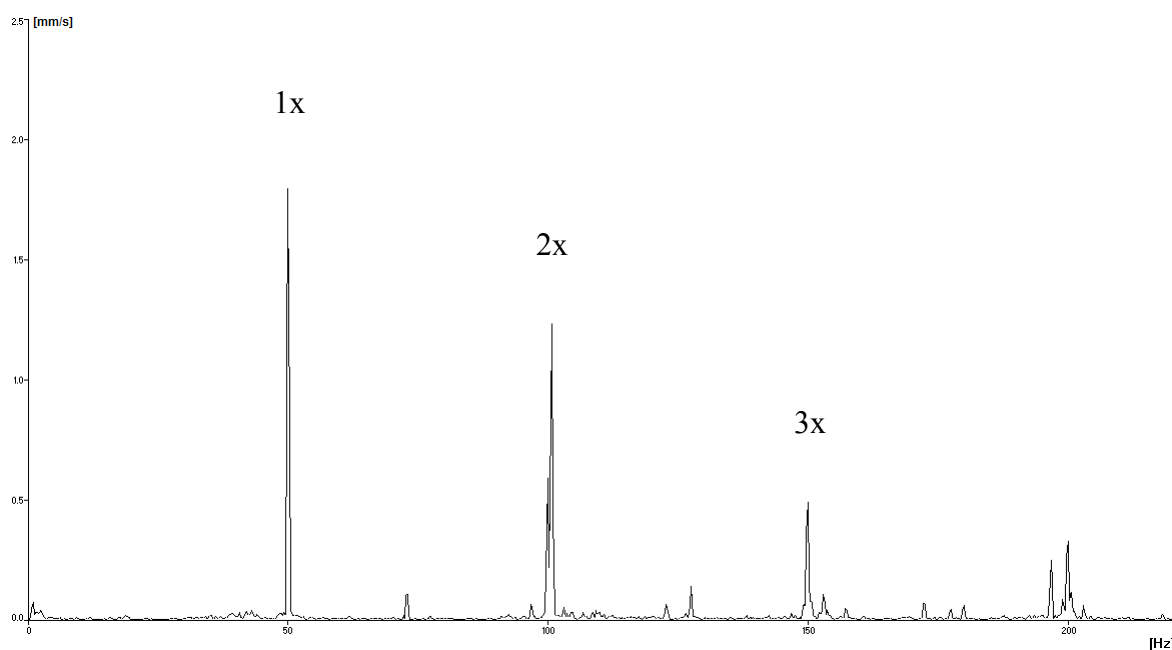


Obr. 40 Trend vývoje vibrací soustavy 7c s vyznačenými zvýšenými vibracemi na ložiscích poblíž spojky

Dle normy ISO 10 816-3 se jedná o elektromotor, který řadíme do skupiny dva (stroje střední velikosti s výkonem 15- 300 kW). Podle hodnot vibrací spadá do pásma C, což znamená, že stroj může být ještě provozován do nalezení možnosti nápravy. Dle normy ISO 10816-7 řadíme toto čerpadlo také do třídy C. Norma [11]

Na čerpadle byly změřeny hodnoty jen z jednoho ložiska, jelikož čerpadlo bylo jiné konstrukce. Při měření 12. 10. 2010 byla sestava měřena pár minut po spuštění a projevovala se na ní velká nevyváženost. Jak je vidět z hodnot z 16. 11. 2010, čerpadlo po rozběhnutí tuto nevyváženost ztrácí. Je nejspíš tvořena ztuhlým olejem, či jinými látkami na rotujících elementech, které se po určité době rozprostřou a tím pádem nevyvážek zmizí.

Povšimněme si ale červené křivky, na které jsou vidět zvětšené vibrace v horizontálním a vertikálním směru na ložiscích po stranách spojky (L2 a L3).



Obr. 41 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací motoru na druhém ložisku ve vertikálním směru (L2-V-4) měřeno 16. 11. 2010

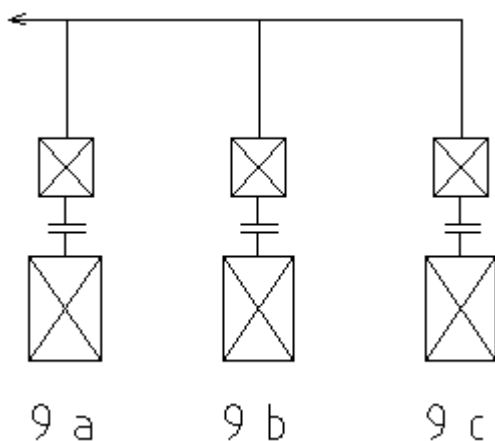
Problém, který na této sestavě je nesusosost. Při pohledu na efektivní hodnoty vidíme, že ložiska na obou stranách spojky mají velmi velké vibrace v horizontálním směru. To znamená, že problém se nachází na spojce. Následně při analýze frekvenčního spektra vidíme typický graf pro nesusosost.

Vyhodnocení:

Doporučení pro tuto sestavu je odšroubovat motor a znovu jej odborně ustavit, aby byla odstraněna nesouosost. Při provozování dál při takovýchto vibracích dojde vrzy k poškození ložisek a jiných částí.

5.5.2 Větev číslo 9

Čerpané médium v této větvi je horký odehnaný olej

**Parametry:**

Motor je asynchronní 3 fázový, vyrobený bývalou firmou MEZ Frenštát

Výkon 30 kW

Provozní štitkové otáčky: 2950 ot/min

Frekvence 50 Hz

Čerpadlo pracuje s tlakem 0,55 MPa

Sestava 9a

Tento motor je přišroubován rovnou k ocelové základní desce. Síly jsou přenášeny tak, jak mají do betonového základu (obr. 42). Vibrace na této sestavě jsou ovšem dosti velké.



Obr. 42 Pohled na sestavu 9a čerpající horký odehnaný olej

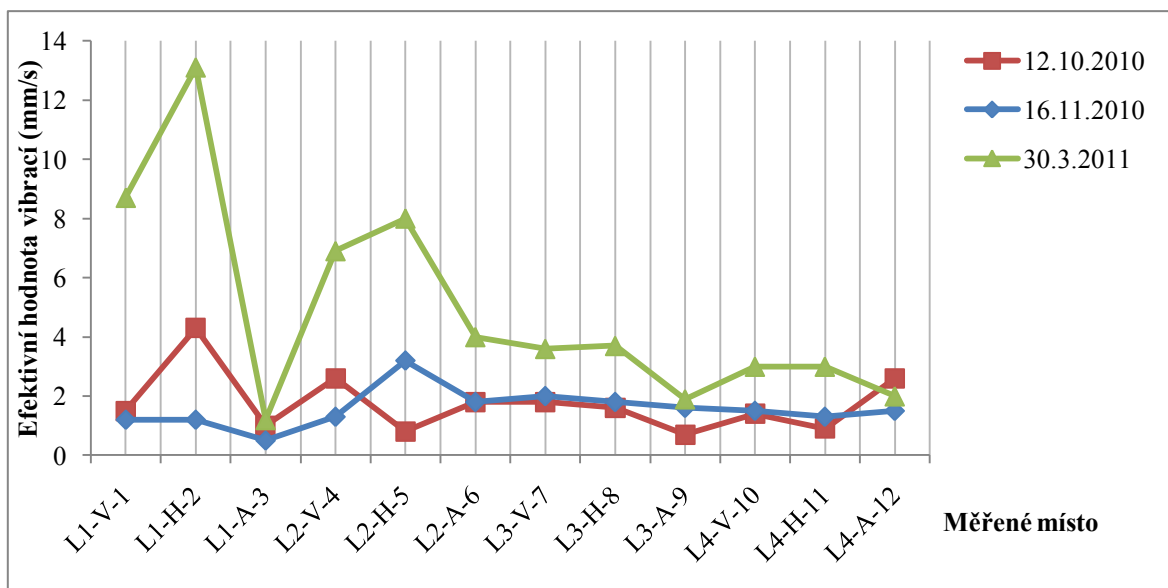
Při ohledání jsme zjistili, že betonová deska je uvolněná a chvěje se zároveň s čerpadlem. Po osahání bylo zjištěno místo uvolnění v zadní části. Na obrázku 43 vidíme, jak je upevnění provedeno, a vyznačené místo uvolnění. Když zde byl přiložen prst, ucítili jsme rozdíly chvění.



Obr. 43 Základ elektromotoru s označeným místem uvolnění

Naměřené hodnoty:

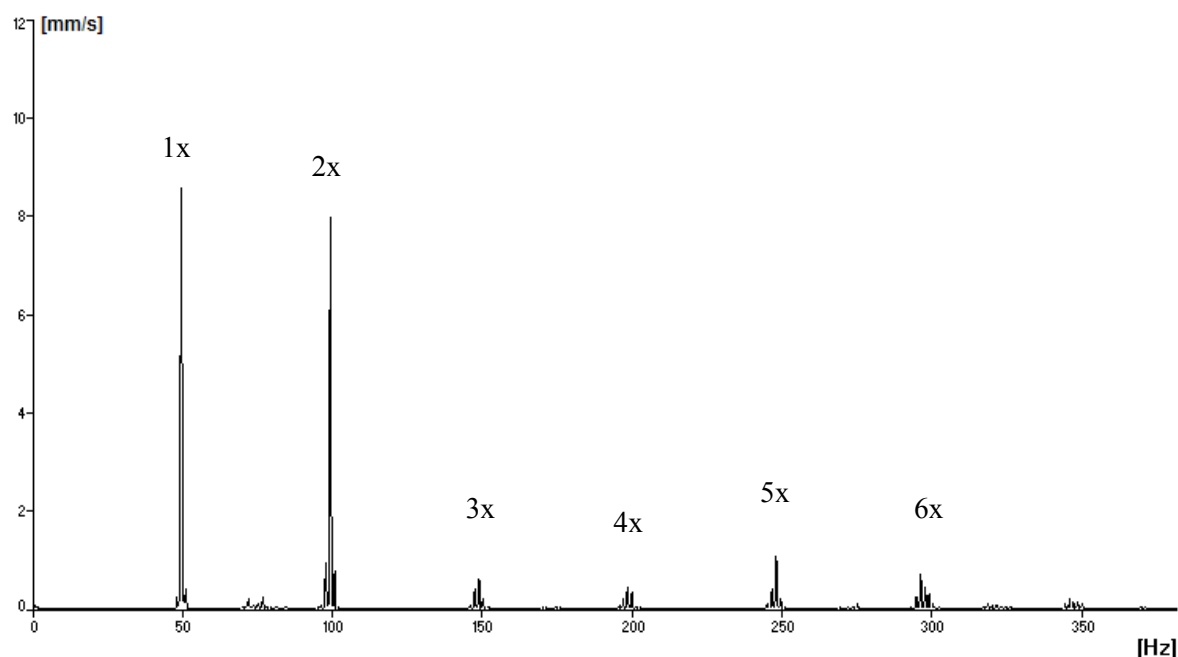
Dle normy ISO 10 816-3 se jedná o elektromotor, který řadíme do skupiny dva (stroje střední velikosti s výkonem 15- 300 kW). Podle hodnot vibrací spadá do pásma D, podle kterého jsou hodnoty vibrací natolik nebezpečné, že mohou vyvolat poškození stroje. Dle normy ISO 10816-7 řadíme toto čerpadlo do na rozhraní pásem B/C, což jsou zatím vcelku malé vibrace. Norma [11]



Obr. 44 Trend vývoje vibrací sestavy 9a

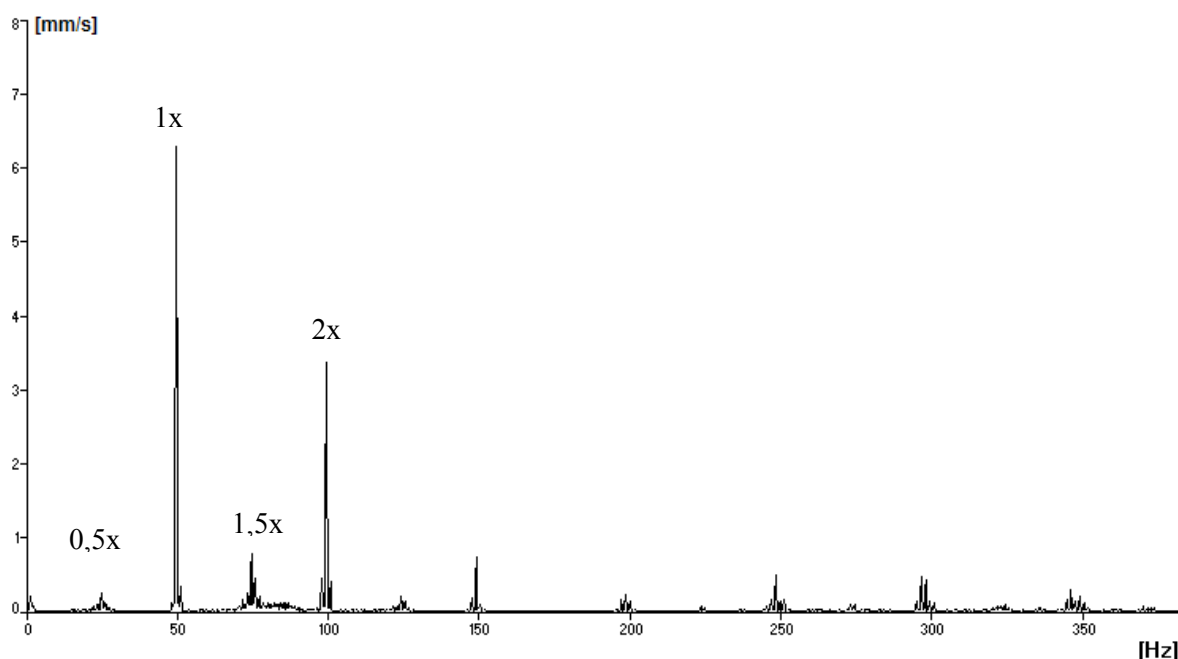
Zde je jasně patrný značný vývoj vady na sestavě 9a. V místech, kde byl nalezen uvolněný betonový základ je z grafu vidět zhoršování tohoto problému. Po 3 měsících došlo k rapidnímu nárůstu vibrací a to až na 4 násobek (obr. 44). Z takto rychlého trendu vývoje je patrné, že stroj je v doběhové fázi a je nutná jeho brzká údržba.

Frekvenční špičky vibrací jsou harmonické násobky 49,75 Hz což odpovídá 2985 ot/min (šítkové otáčky 2950 ot/min). Tyto otáčky se téměř shodují s šítkovými. (obr. 45)



Obr. 45 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací motoru na prvním ložisku v horizontálním směru (L1-H-2) měřeno 30. 3. 2011

Frekvenční spektrum obsahuje více informací o závadách. Vzhledem k zjištěné prasklině usuzuji, že se jedná o kombinaci nesouososti a mechanického uvolnění.



Obr. 46 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací motoru v horizontálním směru (L2-H-5) měřeno 30. 3. 2011

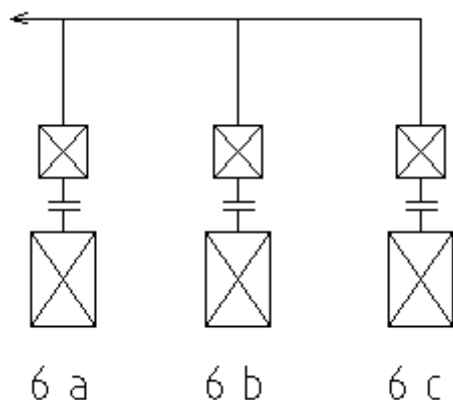
Při mechanickém uvolnění vznikají interharmonické a subharmonické násobky, což je případ bodu L2-H-5. (obr. 46)

Vyhodnocení:

Vzhledem k trendu rozvoje vibrací lze říci, že sestava čerpadla je v poslední doběhové fázi a je třeba jej okamžitě odstavit. Nesouosost musí být odstraněna správným vyosením motoru a betonový základ je třeba vhodným způsobem znovu ukotvit, aby nedošlo k vzniku dalších závad.

5.5.3 Větev číslo 6

Čerpané médium v této větvi je nasycený olej

**Parametry:**

Motor je asynchronní 3 fázový, vyrobený bývalou firmou MEZ Frenštát vyroben roku 1970

Výkon 30 kW

Provozní štičkové otáčky: 2940 ot/min

Frekvence 50 Hz

Čerpadlo pracuje s tlakem 0,85 MPa



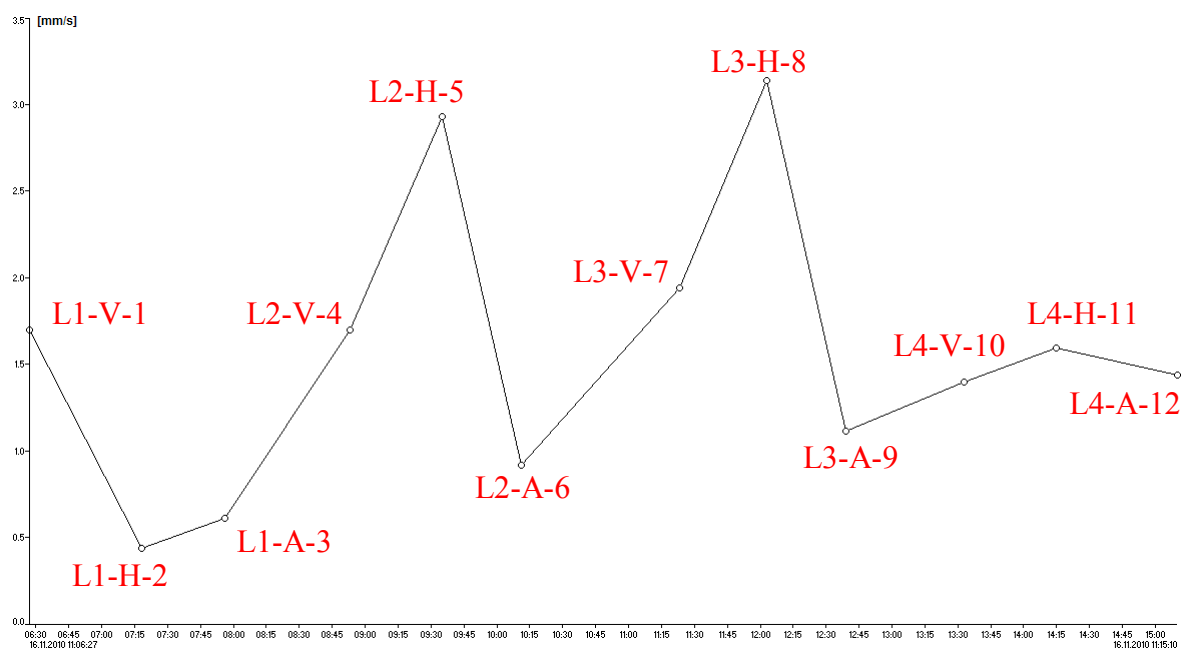
Obr. 47 Pohled na jednu ze sestav větve 6 čerpající nasycený olej

Sestava 6a

Na této sestavě jsme nenašli žádné praskliny ani uvolnění.

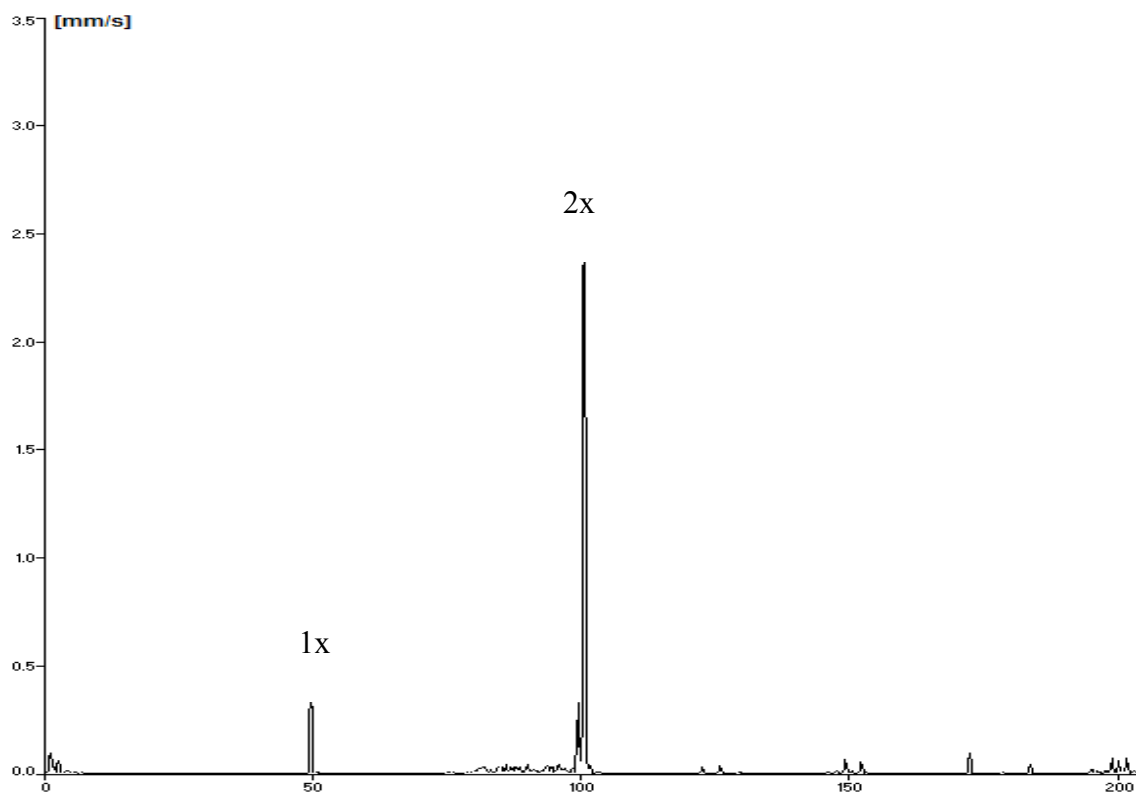
Naměřené hodnoty:

Dle normy ISO 10 816-3 se jedná o elektromotor, který řadíme do skupiny dva (stroje střední velikosti s výkonem 15- 300 kW). Podle hodnot vibrací spadá do pásma C, což znamená, že stroj může být ještě provozován do nalezení možnosti nápravy. Dle normy ISO 10816-7 řadíme toto čerpadlo do pásma B, což znamená, že zatím nepotřebuje žádnou údržbu. Norma [11]



Obr. 48 Zobrazení efektivních hodnot rychlosti vibrací všech měřených bodů v pásmu 10-1000 Hz.

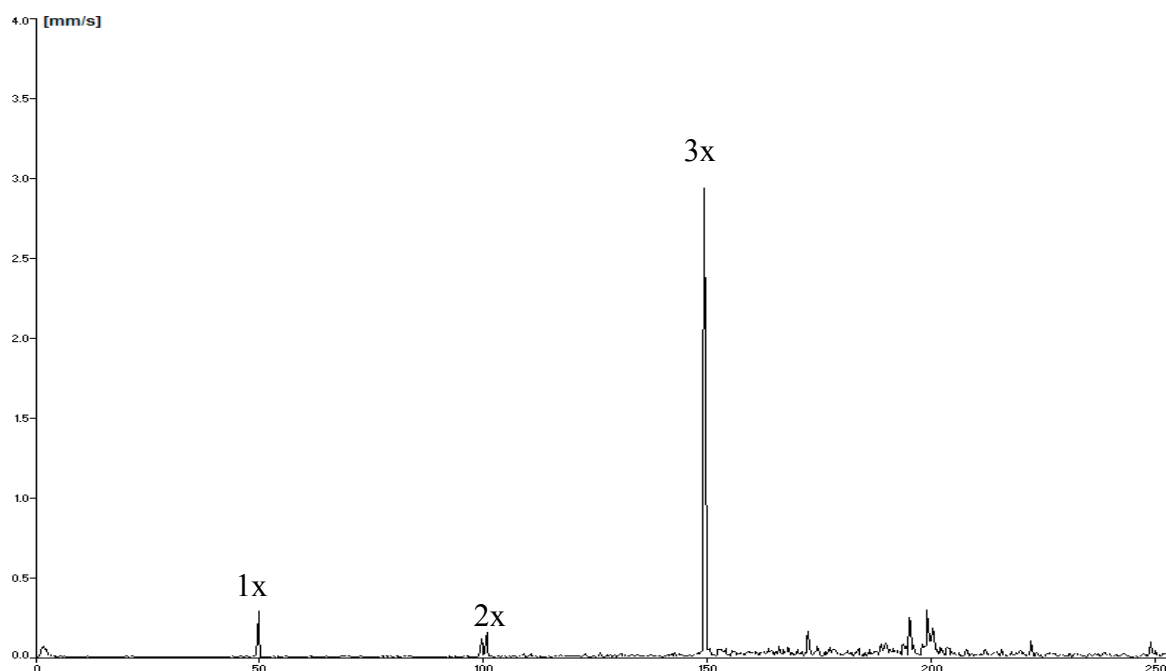
Z naměřených efektivních hodnot rychlosti vibrací vidíme, že velmi výrazné špičky se vyskytují na 2. a 3. ložisku v horizontálním směru. Z toho lze usuzovat, že jsou zde problémy se spojkou.



Obr. 49 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací motoru v horizontálním směru pro ložisko 2 (L2-H-5)

Při pohledu do frekvenčního spektra bodu L2-H-5 vidíme, že dominantní je druhá otáčková frekvenční složka, což je nejčastější projev paralelní nesouososti. (obr. 49)

Ve frekvenčním spektru bodu L3-H-8, což je bod nacházející se v horizontálním směru na ložisku čerpadla vidíme dominanci třetí otáčkové frekvenční složky. Je to další známka toho, že spojka se potýká s nesouosostí. (obr. 50)



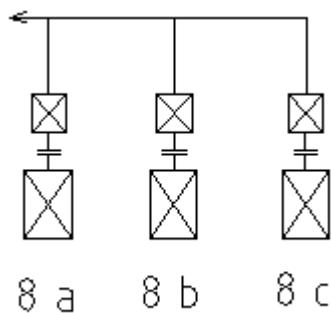
Obr. 50 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací motoru v horizontálním směru pro ložisko 3 (L3-H-8)

Vyhodnocení:

Vibrace na této sestavě nejsou příliš velké, ovšem je nutné nesouosost co nejdříve odstranit, jelikož způsobuje velké namáhání ložisek a také spojky. Tím dochází ke zkracování životnosti těchto komponentů a tím pádem zvyšování nákladů na údržbu takového zařízení.

5.5.4 Větev číslo 8

Čerpané médium v této větvi je deflegmát

**Parametry:**

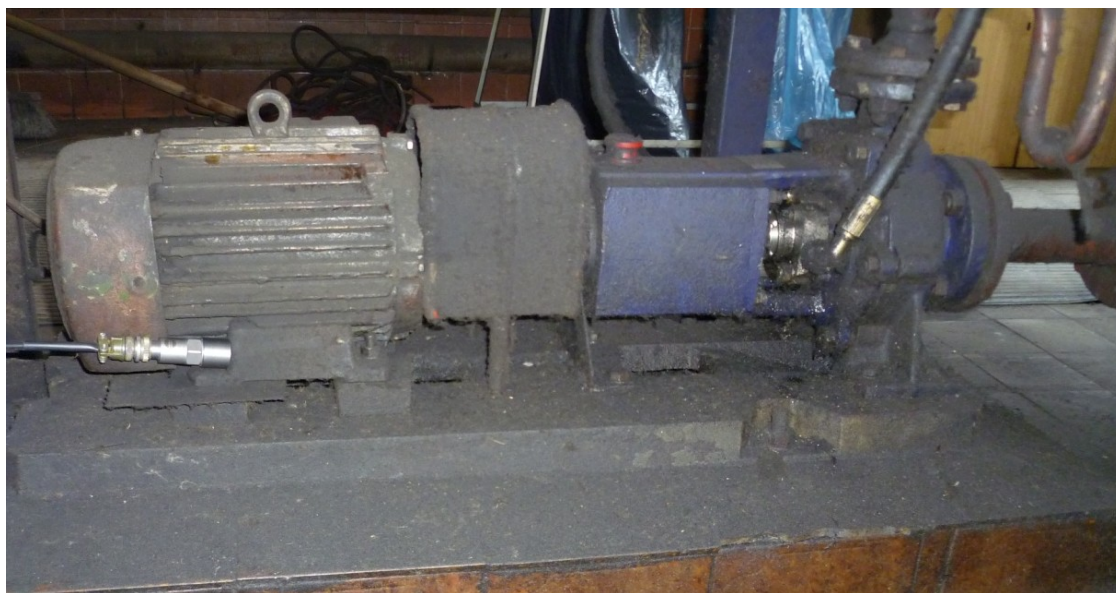
Motor je asynchronní 3 fázový, vyrobený bývalou firmou MEZ Mohelnice

Výkon 3 kW

Provozní štítkové otáčky: 2890 ot/min

Frekvence 50 Hz

Čerpadlo pracuje s tlakem 0,38 MPa



Obr. 51 Sestava z větve 8 čerpající deflegmát

Tyto čerpadla mají menší rozměry. Jejich vibrace jsou řádově nižší. Zde je měřeno 11 hodnot, axiální směr z čtvrtého ložiska nelze změřit.

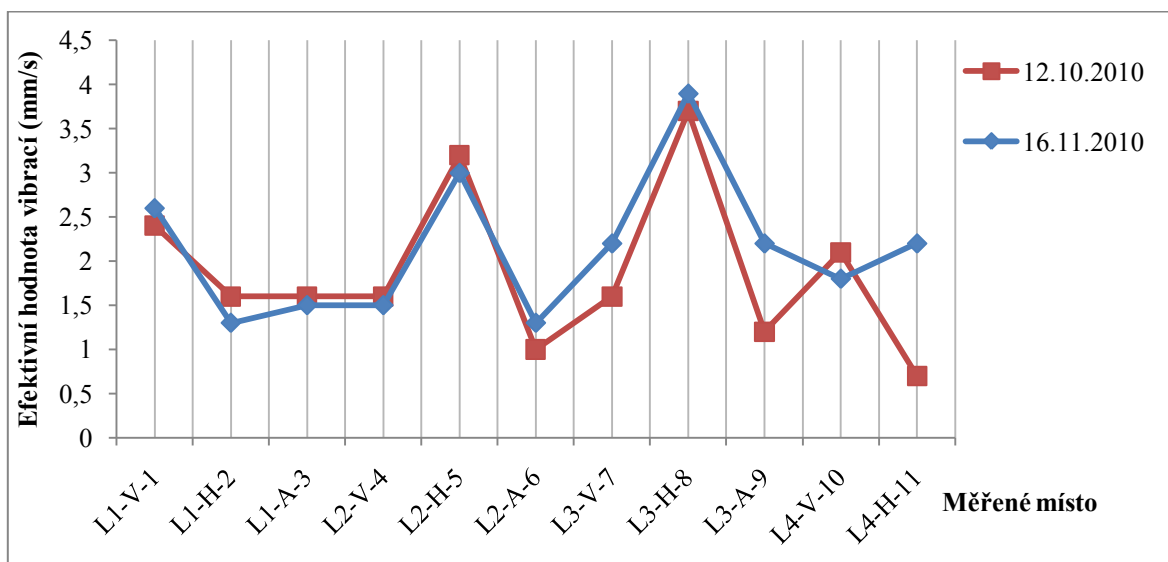
Sestava 8c

Na sestavě 8c byla zjištěna nezvykle vysoká teplota, nacházející se v místě kde je hřídel uložená v ložisku (L3) na čerpadle. Pouhým dotykem je znatelné, že teplota v tomto místě je 2 krát až 3 krát vyšší.

Naměřené hodnoty:

Jelikož se jedná o sestavu s malým výkonem musíme použít obecnou normu ISO 10816-1 podle které tento stroj spadá do pásma C, což znamená, že stroj může být ještě provozován do nalezení možnosti nápravy. Norma [7]

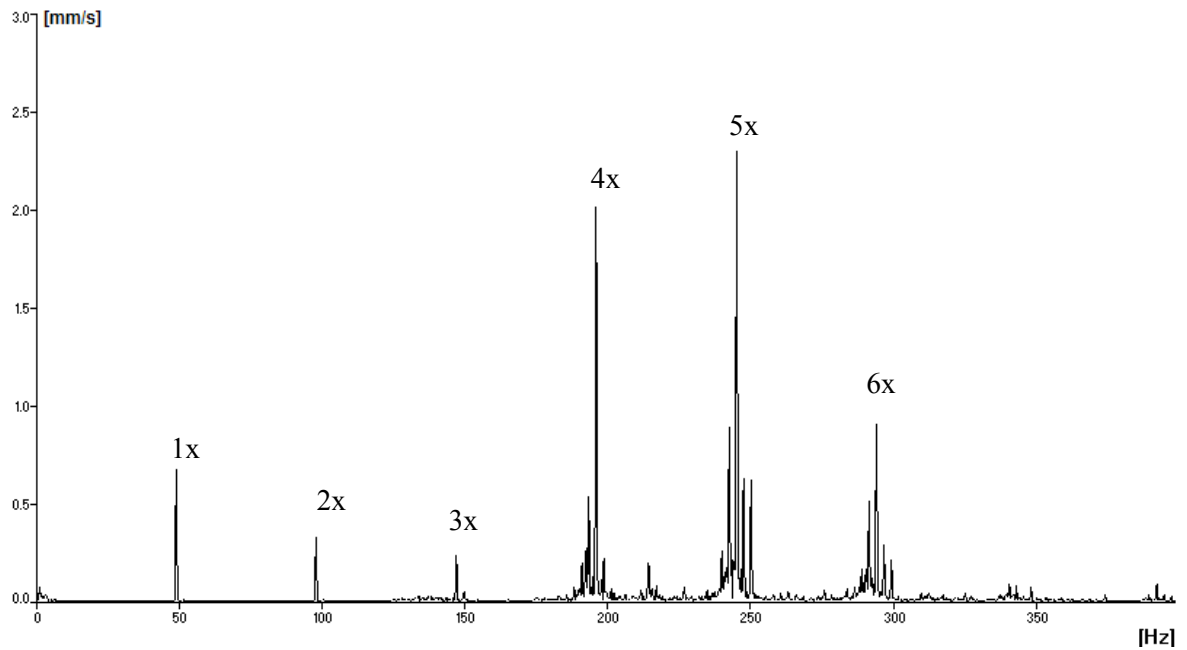
Zde vidíme opět velké hodnoty vibrací na ložiscích L2 a L3 v horizontálním směru, které jsou v blízkosti spojky a mohou znamenat její poškození nebo nesouosost.



Obr. 52 Trend vývoje vibrací sestavy 8c

V tomto trendu vývoje vidíme, že efektivní hodnoty rychlosti vibrací se příliš neliší při odstupu měření jednoho měsíce. To nám říká, že závady se zde nevyvíjí rychle.

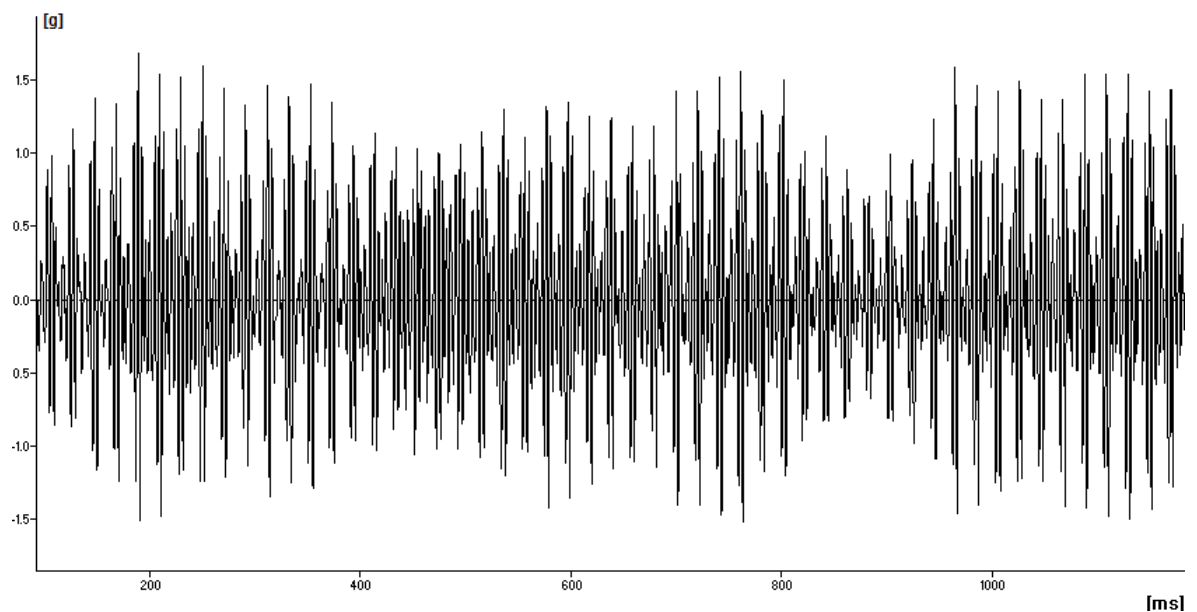
Při zkoumání frekvenčního spektra (obr. 53) zjišťujeme, že největší špičky jsou až na 4,5,6 násobku otáčkové frekvence. Takto vysoké násobky mohou znamenat poškození ložiska, v poslední etapě, kdy jsou viditelné špičky na nízkých frekvencích značí závadu na vnitřním nebo vnějším ložiskovém kroužku.



Obr. 53 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací motoru v horizontálním směru (L3-H-8)

měřeno 16. 11. 1010

Pro potvrzení využijeme k analýze časový záznam vibrací v 1-800 Hz, jelikož se největší výchylky objevují v rozmezí 50-400 Hz. Vidíme zde rázy, které způsobuje poškozené ložisko. Při přehrání záznamu pomocí zvukové stopy jsou slyšitelné ťukání, které je způsobováno vadou uvnitř ložiska. Pro záznamy z vyšších frekvencí zrychlení jsou hodnoty vibrací u časových spekter mnohonásobně větší.



Obr. 54 Časový záznam vibrací v 1-800 Hz s nesymetrií rychlosti vibrací čerpadla v bodě 5 v horizontálním směru (L2-H-5) měřeno 16. 11. 1010

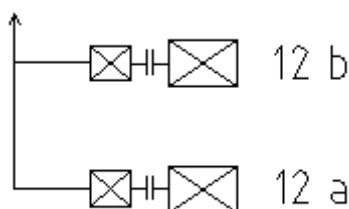
Při analýze zjišťuji, že výsledky jsou téměř totožné jako u druhého ložiska nacházejícího se na motoru (L1). Toto ložisko nehřeje, ale bude jej nutné taky vyměnit.

Vyhodnocení:

Na této sestavě se nacházejí velmi vysoké vibrace, které jsou způsobeny vadou ložisek a nesouosostí. Ložiska je třeba co nejdřív vyměnit, jelikož jsou v poslední etapě své životnosti a přitom znovu ustavit motor, aby byla zaručena souosost.

5.5.5 Větev číslo 12

Čerpané médium v této větvi je odpadní voda



Parametry:

Motor je asynchronní 3 fázový, vyrobený bývalou firmou MEZ

Výkon 3 kW

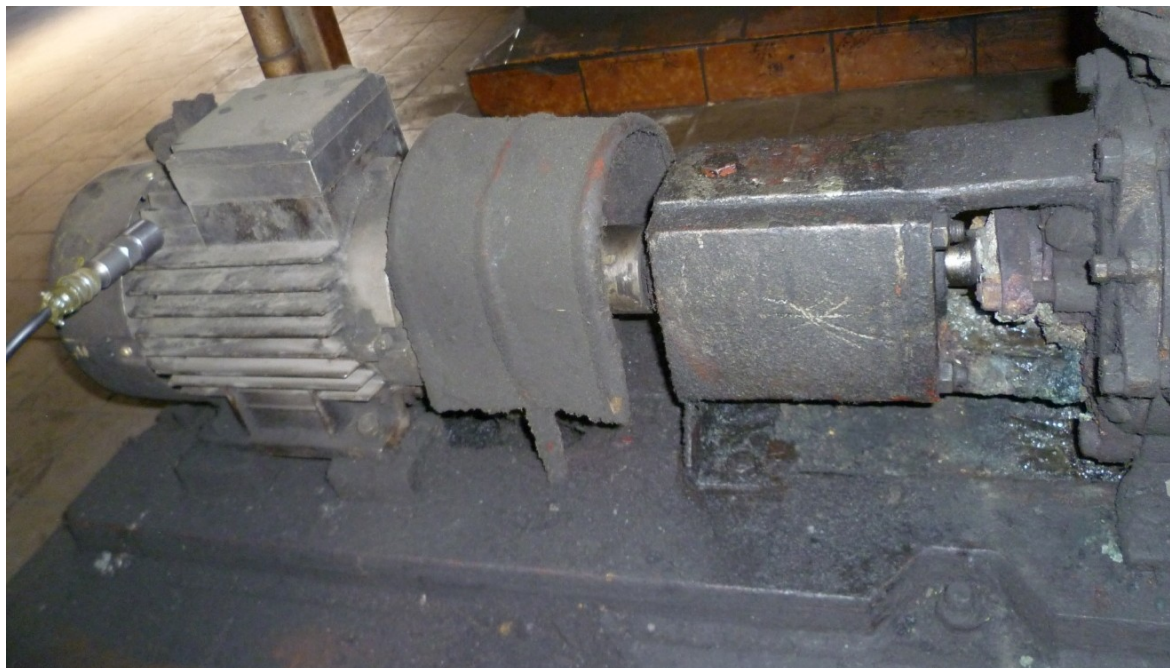
Provozní štičkové otáčky: 2850 ot/min

Frekvence 50 Hz

Čerpadlo pracuje s tlakem 0,3 MPa

Sestava 12b

Jedná se o sestavu malých rozměrů s nízkým výkonem. Proto jsou vibrace zde měřené malé.



Obr. 55 Sestava 12b čerpající odpadní vodu

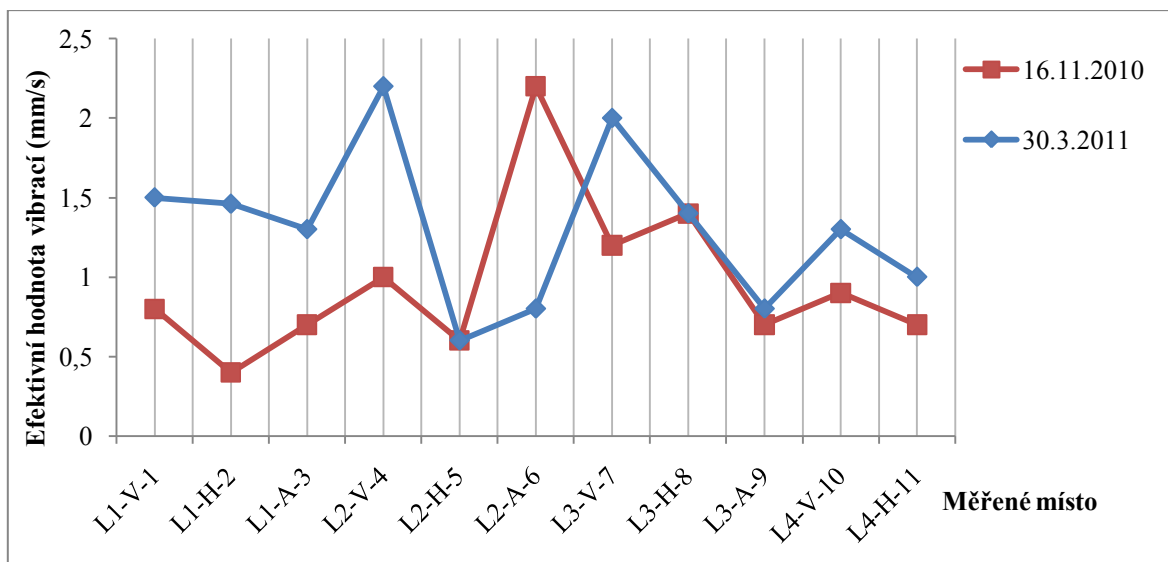
Při hledání možné závady jsem našel volný šroub, který se nacházel v místě patky čerpadla. Jeho účel byl jen optický.



Obr. 56 Nastrčený šroub v levé zadní patce

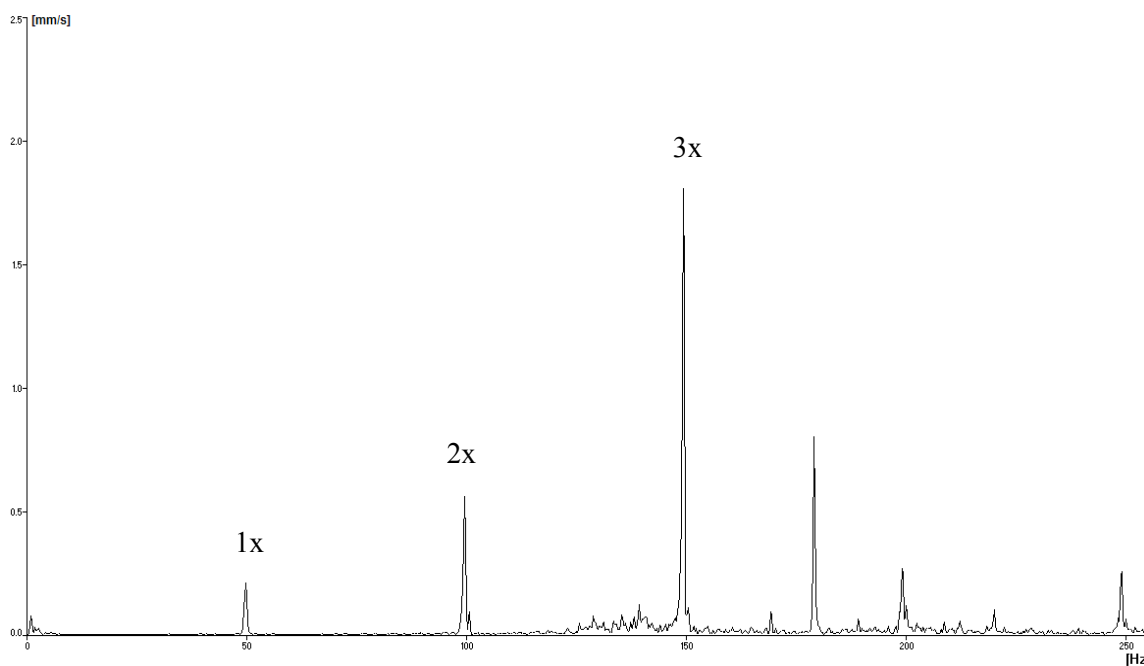
Naměřené hodnoty:

Jelikož se jedná o sestavu s malým výkonem, musíme použít obecnou normu. Dle ISO 10816-1 se tento stroj řadí do pásma B. Norma říká, že při těchto vibracích může být stroj zpravidla provozován po neomezeně dlouhou dobu. Norma [7]



Obr. 57 Trend vývoje vibrací sestavy 12b

Z měření 16. 11. 2010 vidíme, že největších vibrací dosahuje bod v axiálním směru na druhém ložisku motoru (L2-A-6). Zvětšené axiální vibrace na 3 násobku otáčkové frekvence značí úhlovou nesouosost. (obr. 59)



Obr. 58 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací motoru v axiálním směru (L2-A-6)

měřeno 16. 11. 2010

Při zkoumání frekvenčních spekter všech bodů zjišťuji, že vždy dominuje třetí násobek otáčkové frekvence. Měření 30. 3. 2011 vyhazuje tytéž frekvenční spektra, akorát se zvětšenou hodnotou efektivních vibrací obzvlášť ve vertikálních bodech na druhém a třetím ložisku, které jsou u spojky. Na motoru se díky chybějícího šroubu nachází tzv. měkká patka a ve frekvenčním spektru se projevuje jako interharmonické a subharmonické špičky.

Vyhodnocení:

Tato sestava má problém s úhlovou nesouosostí a mechanickým uvolněním. Je vhodné sjednat nápravu, aby se tyto problémy příliš nezvětšily.

5.6 Čerpadla s podezřením poruchy

V podniku jsme byli zavedeni k dalším čerpadlům, na nichž byly zdejšími diagnostickým centrem velké vibrace.

5.6.1 Měřená čerpadla

Uvádím zde jako příklad jedno, kde byla nalezena měkká patka.

Sestava 7A

Parametry:

Motor je výrobek bývalé firmy MEZ Frenštát, jedná se o asynchronní 3 fázový motor s výkonem 55kW

Provozní otáčky: 1475 ot/min

Frekvence 50 Hz

Čerpadlo pracuje s tlakem 0,6 MPa

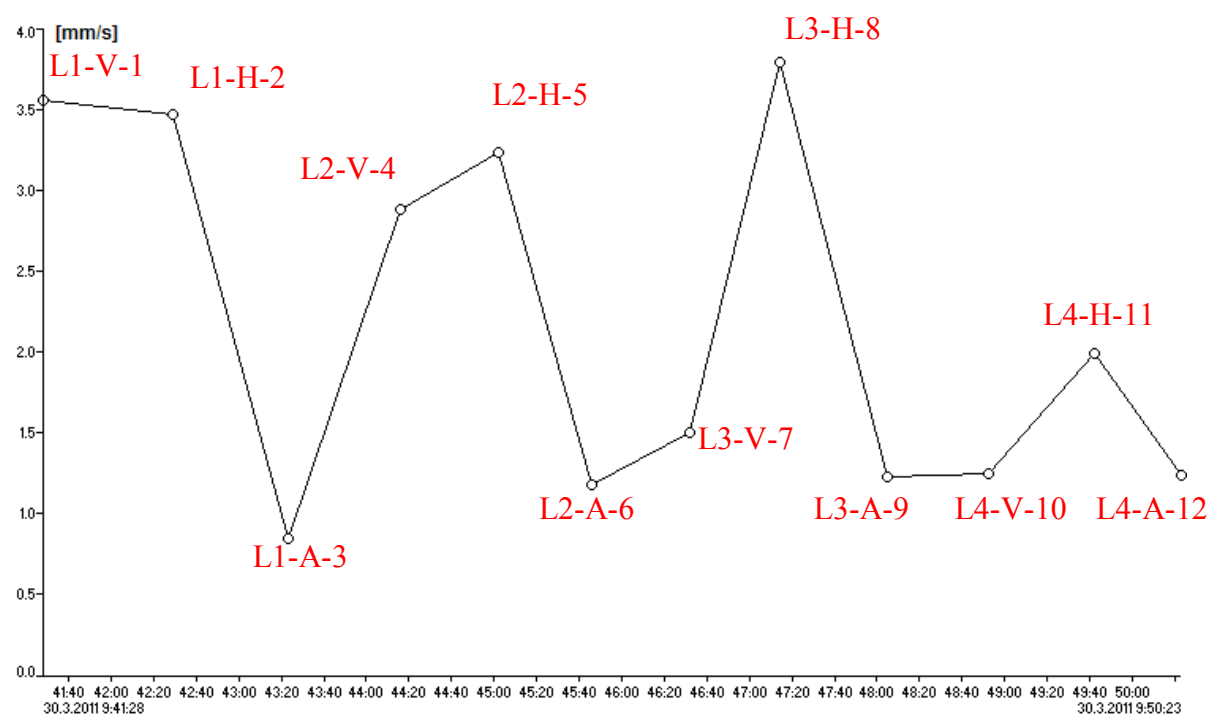
Čerpané médium má teplotu 45°C

Po přezkoumání zdejší podložky pod elektromotorem, která byla také vyrobena kvůli menší osově výšce novějšího elektromotoru, bylo zjištěno, že masivní ocel dokonale přiléhá i k rámu i k základové ocelové desce. Po bližším osahání celé sestavy bylo zjištěno, že v přední části, kde je základová ocelová deska připevněná k betonovému podkladu jsou v okolí šroubu zjistitelné značné rozdíly vibrací (obr. 60). Při zjištění, že šroub, jenž je zapuštěn do betonu, nemá na svém povrchu zachytitelné žádné výrazné vibrace, jsem usoudil, že problém se nachází buď v špatně přitáhnuté matici, nebo v prasklé patce základového ocelového rámu.



Obr. 59 Místo hmatatelného rozdílu vibrací a zakroužkované vadné ukotvení

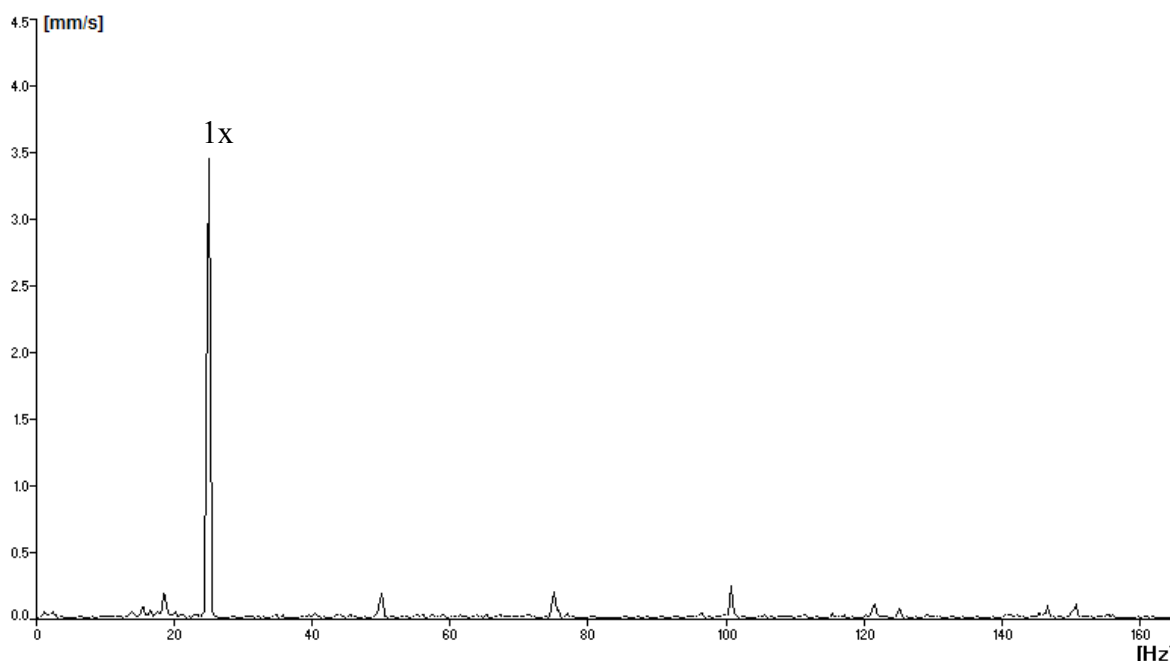
Naměřené hodnoty:



Obr. 60 Zobrazení efektivních hodnot rychlosti vibrací všech měřených bodů v pásmu 10-1000 Hz.

Z obr. 61 je patrné, že největší vibrace se zde nacházejí na motoru v radiálních směrech.

Dle ISO 10816-3 a ISO 10816-7 spadá celá tato sestava do pásma C. V tomto pásmu stroj může být ještě provozován až do nalezení možnosti nápravy. Norma [11]



Obr. 61 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací motoru ve vertikálním směru pro ložisko 1 (L1-V-1)

Z frekvenčního spektra lze vyčíst, že problém který zde způsobuje vibrace je nevyváženost. Podobné frekvenční spektrum s dominantní první otáčkovou frekvencí mají téměř všechny měřené body.

Vyhodnocení:




Jelikož tato sestava spadá dle ISO 10816 do pásma C měla by být v co nejbližší době provedena náprava problémů






Projevuje se zde hodně problém s nevyvážeností. Měkká patka je ve frekvenčním spektru málo patrná, avšak je třeba tento problém řešit.

6 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zaměřil na vibrační diagnostiku horizontálních čerpadel ve společnosti Koksovna Svoboda. Diagnostické oddělení je zde v zaváděcí fázi a detailní analýza vibrací ještě nebyla prováděna. Jak se při měření ukázalo, čerpadla se nacházejí v dosti špatném stavu.

Narazili jsme na případy, kdy závada byla značně rozvinutá a to především na elektromotoru a hraničila s havarijním stavem. Ukázkovým příkladem vadného soustrojí se staly sestavy 01 a 02 nacházející se na venkovním pracovišti, které vykazovaly velmi vysoké vibrace. Jednalo se o tak vysoké hodnoty, které vyžadovaly okamžité provedení odstávky a realizování nezbytných oprav.

Sestava	Problém	ISO 10816-1,3,7 motor/čerpadlo (max. vibrace)	Doporučení
01 	Nesouosost, nevyhovující podstavný rám, poškození spojky a ložiska,	D/D (14,1 mm/s v bodě L1-H-2)	Okamžitá odstávka, odstranění problémů
02 	Popraskaný podstavný rám pod elektromotorem, nevyváha, nesouosost, kavitace	D/D (16,2 mm/s v bodě L2-V-4)	Okamžitá odstávka, odstranění problémů
7c 	Nesouosost	C/C (6,2 mm/s v bodě L3-V-7)	Opravit v co nebližší době

9a 	Nesouosost, uvolněný betonový základ	D/C (13,1 mm/s v bodě L1-H-2)	Okamžitá odstávka, odstranění problémů
6a 	Nesouosost	C/B (3,2 mm/s v bodě L3-H-8)	Opravit v co nebližší době
8c 	Vada ložisek, nesouosost	C (3,9 mm/s v bodě L3-H-8)	Opravit v co nebližší době
12b 	Úhlová nesouosost, mechanické uvolnění	B (2,2 mm/s v bodě L2-V-4)	Může být provozováno
7A 	Nevyváženost, měkká patka	C/C (3,8 mm/s v bodě L3-H-8)	Opravit v co nebližší době

Jak vidíme v této tabulce, zdejší čerpadla se dle ISO 10816 pohybují v horních pásmech vibrací. Nejzávažnější stav je označený písmenem D, kdy stroj by neměl být nadále používán.

Nejčastější problém, který jsme našli, byla nesouosost, nebo špatné ukotvení elektromotoru. Ustavení bylo realizováno pomocí nevhodných ustavovacích podložek a přidavných konstrukcí, které zvětšovaly osovou výšku a zapříčiňovaly vznik málo tuhého ukotvení. Většinu problémů by v těchto případech šlo předejít pečlivým ustavením elektromotoru na vhodné konstrukci.

7 Použitá literatura:

- [1] HELEBRANT, František; ZIEGLER, Jiří. *Technická diagnostika a spolehlivost II. Vibrodiagnostika*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2004. 178 s.
- [2] OBDRŽÁLEK, Ondřej. *Využití provozních tvarů kmitů (PTK) v diagnostice*. Ostrava, 2009. 72 s. Bakalářská práce. VŠB-TUO.
- [3] STUDENÝ, Jiří. *Vibrodiagnostický systém pohonu mlýna* [online]. Ostrava : VŠB-TUO, 2009. 56 s. Bakalářská práce. VŠB-TUO. Dostupné z WWW: <<http://dspace.vsb.cz/handle/10084/71848>>.
- [4] OKK Koksovny, a.s. [online]. 2009 [cit. 2011-04-18]. Koksovna Svoboda. Dostupné z WWW: <<http://www.koksovny.cz/cz/kde-vyrabime-koks/koksovna-svoboda/>>.
- [5] Adash Přenosné přístroje [online]. 2011 [cit. 2011-04-20]. Adash. Dostupné z WWW: <http://www.adash.cz/CZ%20verze/prenosne_pristroje.html>.
- [6] BLATA, Jan. *Metody technické diagnostiky : Návod do cvičení předmětu „Technická diagnostika“*. Ostrava : VŠB-TUO, 2010. 29 s.
- [7] *Vibrace - Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech : Část 1: Všeobecné směrnice*. Praha : Český normalizační institut, 1998. 24 s.
- [8] ALENA BILOŠOVÁ, Alena. *Katedra mechaniky* [online]. 2007 [cit. 2011-05-02]. Frekvenční spektra. Dostupné z WWW: <http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_2.pdf>.
- [9] *Ložiska WILIM* [online]. 2008 [cit. 2011-05-02]. Ustavování strojů pomocí laseru. Dostupné z WWW: <<http://loziskavilim.cz/php/editor/files/Ustavovani.pdf>>.
- [10] KREIDL, Marcel; ŠMÍD, Radislav. *Technická diagnostika : senzory - metody – analýza signálu*. Vyd. 1. Praha : Technická literatura BEN, 30-11-2006 . 408 s. ISBN 80-7300-158-6, EAN: 9788073001582.
- [11] Diagnostika strojů. In *Diagnostika strojů: Snadno a rychle pomocí FFT analýzy* [online]. Teplice : PRÜFTECHNIK AG, srpen 2010 [cit. 2011-05-03]. Dostupné z WWW: <http://www.pruftechnik.com/fileadmin/user_upload/COM/Machinery_Service/PDFs/VIB_Booklet_CZ.pdf>.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Blatovi za zprostředkování měření, pomoc při vyhodnocování dat a za cenné rady při vypracovávání této práce.